

# **QUALITY NETWORKING**

**Method of continuous quality tracing and improvement (MCQTI)**

**Methode der kontinuierlichen Qualitätsverfolgung und –Verbesserung**

Entwicklung einer Steuerungs- und Qualitätsverbesserungsmethode zur  
Prozessoptimierung, demonstriert am Beispiel Bohrbearbeitungsaufgaben.

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr. Ing.)

vorgelegt der

Fakultät für Maschinenbau der  
Technischen Universität Ilmenau

von Herrn

**Dipl. –Wirtsch.-Ing. Michael Arnulf Haas**

geboren am 23.05.1974 in Schramberg / Deutschland

## **Vorwort**

Der Forschungsbericht befasst sich mit der Unterstützung des Qualitätsmanagements industrieller Unternehmen mittels Entwicklung eines Modells zur Optimierung von Fertigungsprozessen.

Interesse und Neugier für das Thema aus der angewandten Forschung wurde von meinem akademischen Lehrer, Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß gefördert. Hierfür und für die Betreuung der Forschungsarbeit gilt Herrn Prof. Linß mein erster Dank.

Weiterer Dank an Herrn Prof. Dr.-Ing. Wilfried Saxler für die Begutachtung als Zweitkorrektor.

Herrn Dr.-Ing. Peter Hänle danke ich für die Bereitstellung des Testequipments, mit dem die experimentelle Validierung des Modells möglich wurde.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern, Dr. rer. pol. Arnulf und Gerlinde Haas sowie meinem Bruder Dr.-med. Dominik Haas für die Geduld, Rücksichtnahme und Unterstützung, die mir während der mehrjährigen Forschungsarbeit von ihrer Seite zuteil wurde. Meiner Familie ist diese Arbeit gewidmet.

## **Erklärung**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quellen gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise unentgeltlich geholfen:

Dr.-Ing. Peter Hänle (Bereitstellung des Testequipments)

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich bin darauf hingewiesen worden, dass die Unrichtigkeit der vorstehenden Erklärung als Täuschungsversuch angesehen wird und den erfolglosen Abbruch des Promotionsverfahrens zu Folge hat.

Stuttgart, November 2009

Michael A. Haas

## Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
Abb.	Abbildung
BAZ	Bearbeitungszentrum
BI	Business Intelligence (Software)
bzgl.	Bezüglich
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CNC	Computer numeric controlled
DB	Datenbank (engl. Database)
DI	Definierte Inhomogenitäten
DIN	Deutsche Industrie-Norm
DM	Data Mining
EAI	Enterprise Application Integration
EP	Peripherie-Parameter
ERP	Enterprise Resource Planning
FA	Fertigungs-Auftrag
FAS	Fertigungs-Auftrags-Steuerung
ggf.	gegebenenfalls
HAI	Horizontale Anwendungs-Prozess-Integration
i.d.R.	in der Regel
I/O	Input / Output (engl.) Eingang / Ausgang
IBV	Industrielle Bild-Verarbeitung
ID	Identifikation (Nummer)
IP	Internet Protocol
IQUBE	intelligenter Würfel (qualitätsorientiert)
ISO	internationale Standard-Norm
KDD	Knowledge Discovery in Databases
KNN	Künstliche Neuronale Netze (engl. ANN)
kPM	Kontinuierliches Prozess-Monitoring
LAI	Laterale Anwendungs-Prozess-Integration
LP	Logistik-Parameter
lt.	laut
MA	Mitarbeiter
MCQTI	Method of Continuous Quality Tracing and Improvement
MDE	Maschinen-Daten Schnittstelle
MES	Manufacturing Execution Software
MP	Maschinen-Parameter
NC	numeric controlled
NDI	Nicht Definierte Inhomogenitäten
OLAP	OnLine Analytical Processing
OP	Anwender-Parameter
PPS	Produktions-Planung und –Steuerung
PRK1	Prozess-Regelkreis 1
PRK2	Prozess-Regelkreis 2
PzDB	Prozess-Datenbank



PzO	Prozess-Optimierung
PzS	Prozesssteuerung
QB	Qualitäts-Bereiche
QE	Quality Engineering
QFD	Quality Function Development
QM	Qualitäts-Management
QMM	Qualitäts-Management-Methoden
QMS	Qualitäts-Management-System
QN	Quality Networking
QP	Qualitäts-Parameter
RFID	Radio Frequenze Identifikation
RS 232	Schnittstelle im RS 232 Format
s.q.	status quo
SPK	Statistische Prozess - Krontrolle
TB	Trockenbearbeitung
TCP	Transmission Control Protocol
TP	Werkzeug-Parameter
TPS	Toyota Production System
TQM	Total Quality Management
u.a.	Unter anderem, und andere
UDP	User Datagram Protocol
USB	Schnittstelle im USB Format
VAI	Vertikale Anwendungs-Integration
vgl.	vergleiche
WP	Werkstück-Parameter
WZ	Werkzeug
z.B.	zum Beispiel

## Formelverzeichnis

$\Psi_{x_{ni}}$	Ähnlichkeitswert
$f(\text{activity})$	Aktivierungsfunktion
$f(\text{out})$	Ausgabefunktion
$d$	Diskriminanzmaß
$d(m,y)$	Distanz der Datensätze
$p(i)$	Einzelwahrscheinlichkeiten
$r(x,y)$	Korrelationskoeffizient
$l$	Längeneinheit $l$ in mm
$x_{n \max}$	maximaler Wert
$x_{n \min}$	minimaler Wert
$\bar{x}$	Mittelwert
$x_{ni}$	normierte Werte
$\alpha_{m,n}$	originäre Merkmalsausprägung
$b_o, b_1, b_2$	Parameter der Regressionsfunktion
$\Theta_{\text{prozess}}$	Prozessqualität
$Y$	Regressions-Funktionswert
$s$	Schnittgeschwindigkeit in U/mm
$s$	Standardabweichung
$SS$	Summe der quadrierten Abweichungen
$P(i)$	Summe der Wahrscheinlichkeiten
$f(x)$	Übertragungsfunktion
$f$	Vorschub in mm
$t$	Zeiteinheit in s

## Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abb. 1:	Qualitätsmanagement - Strategien für Qualitätsverbesserung	2
Abb. 2:	Vertikale Prozess-Integration, Struktur und Regelkreise	4
Abb. 3:	Prozesslandkarte - Qualitätssteuerung bei vert. integr. Fertigung	6
Abb. 4:	Six Sigma Kreislauf	9
Abb. 5:	Systemkomponenten für Wissensgenerierung	12
Abb. 6:	Standardisierter KDD Prozess	13
Abb. 7:	Behebung von Datenlücken durch verschiedene Verfahren	15
Abb. 8:	Data-Mining Struktur / Methoden	18
Abb. 9:	Aufbau eines künstlichen Neurons	27
Abb. 10:	Aufbau eines binären Neurons	28
Abb. 11:	Beispiel einer einfachen Gatterfunktion	29
Abb. 12:	Verknüpfung zweier Neuronen um eine XOR Gatter zu realisieren	30
Abb. 13:	Beispielstruktur I/O eines neuronalen Netzwerkes	30
Abb. 14:	Beispiel einer Entscheidungsbaum – Hierarchie	32
Abb. 15:	Beispieltabelle Assoziationsregeln	34
Abb. 16:	Durch Rückkopplung optimierter KDD Prozess	36
Abb. 17:	Effizienzprofil ausgewählter QM- Techniken	37
Abb. 18:	Parametererfassung im vertikalen Prozessmodell	39
Abb. 19a:	Datennetz-Schema zur Prozessdatenerfassung	43
Abb. 19b:	Kommunikationsnetz-Schichten bei 2-stufiger vertikaler Prozessintegration (status quo)	44
Abb. 20a:	Zieldefinition: Kontinuierliche Qualitätsverbesserung	45
Abb. 20b:	Schema zur Präzisierung der Aufgabenstellung	46
Abb. 21:	Qualitätsziele, Systematiken, Parameteraktionszyklen und Steuerungsmerkmale im Ebenenmodell	48
Abb. 22:	Beispielhafte Parametertypen	49
Abb. 23:	Bohrkraftmessung und Regelung (bei Verschleißgrenze bei $\Delta e= +140\%$ )	49
Abb. 24:	Ursache Wirkungsdiagramm zum Werkzeugstandweg	50
Abb. 25:	Wechselwirkungen der Parametereinflüsse im Fertigungsprozess	54

Abb. 26:	Material-Inhomogenität (10 Bohrv. am Param. Spindel.)	57
Abb. 27:	Typische Spanformen im Zerspanprozess	61
Abb. 28:	Fertigungsprozess-Steuerung im Workflow (status quo)	67
Abb. 29:	Analysetableau, Parameterkonstellationen und –muster (mit Beispieldaten)	69
Abb. 30:	Positionierung des QUALITY NETWORKINGS	72
Abb. 31:	Ursache- Wirkungsbeziehung 1	72
Abb. 32:	Ursache- Wirkungsbeziehung 2	72
Abb. 33:	Ursache- Wirkungsbeziehung 3	73
Abb. 34:	Ursache- Wirkungsbeziehung 4	73
Abb. 35:	Ursache- Wirkungsbeziehung Netz	74
Abb. 36:	Einflussparameter im Span Prozess	74
Abb. 37:	Übersicht zu Einsatzfelder für Data-Mining Methoden	76
Abb. 38:	Auflistung relevanter DM Methoden zur Aufgabe und Problemlösung	78
Abb. 39:	MCQTI Regelkreismodell	79
Abb. 40:	KNN / MCQTI, Phase 1	80
Abb. 41:	Schnittgeschwindigkeit –Abhängigkeitsdiagramm	81
Abb. 42:	Beispielhafte Regressionsgerade (Schnittgeschwindigkeit / Vorschubrate)	82
Abb. 43:	Beispielhaftes Abhängigkeitsdiagramm zur Vorschubgeschwindigkeit	83
Abb. 44:	Beispielhafter Liftfaktor für Parametermuster 1	84
Abb. 45:	Beispielhafter Liftfaktor für Parametermuster 2	84
Abb. 46:	Beispielhafte Regressionsgerade Vorschub-Geschwindigkeit	85
Abb. 47:	Kühlmitteldruck Diagramme	86
Abb. 48:	Maschinenvibration Diagramme	87
Abb. 49:	Gesamtanalyse des Parametermusters	88
Abb. 50:	Daten zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten	89
Abb. 51:	Visualisierung der Korrelationskoeffizienten	89
Abb. 52:	Clusteranalyse für Schnittgeschwindigkeit kleiner 120	90

	Seite	
Abb. 53:	Clusteranalyse für Schnittgeschwindigkeit größer 120	91
Abb. 54:	Cluster 1, Klassen und Wahrscheinlichkeiten	91
Abb. 55:	Cluster 2, Klassen und Wahrscheinlichkeiten	92
Abb. 56:	Model Betrachtung Cluster 1	92
Abb. 57:	Liftchart für Clusteranalyse – Schnittgeschwindigkeit	93
Abb. 58:	Zeitreihenanalyse Schnittgeschwindigkeit	94
Abb. 59:	Zeitreihenanalyse der Zielfunktion	95
Abb. 60:	Einfluss Beispielparameter auf die Zielfunktion	96
Abb. 61:	Entscheidungsbaum Beispiel Kühlmitteltemperatur	97
Abb. 62:	Modularer Aufbau des MCQTI Systems	98
Abb. 63:	Visualisierung der MCQTI Ergebnisse	99
Abb. 64:	Aufbau Knowledge Database	102
Abb. 65:	MCQTI Einbindung in die Fertigungssteuerung	108
Abb. 66:	Versuchsaufbau auf einem vertikalen Bearbeitungs- Zentrum	112
Abb. 67:	Qualitätsbestimmende Parameter im Bohrprozess	113
Abb. 68:	Versuchswerkzeugspezifikation Typ A	116
Abb. 69:	Wärmebild Bohrtiefe l=10mm	117
Abb. 70:	Wärmebild Bohrtiefe l=30mm	117
Abb. 71:	Wärmebild Bohrtiefe l=20mm	117
Abb. 72:	Wärmebild Bohrtiefe l=40mm	117
Abb. 73:	Wärmebild maximale Erwärmung	118
Abb. 74:	Wärmebild Anbohrverhalten (Erwärmung)	118
Abb. 75:	Idealer Verschleiß	119
Abb. 76:	Ausbruch Schneidecke	119
Abb. 77:	Aufbauschneide	119
Abb. 78:	Verschleiß unter Aufbauschneide	119
Abb. 79:	Typische Abbildung eines Fähnchenspanes, Spiralspanes (Anbohrspan), Bröckelspanes	120
Abb. 80:	Verschleißmarkenverläufe eines Beispielwerkzeuges	121
Abb. 81:	Verschleißmarkenverlauf Werkzeugbruch, Werkzeug 1	122
Abb. 82:	Verschleißmarkenverlauf Trockenbearbeitung – Werkzeugbruch	123
Abb. 83:	Werkzeugversuchsreihe (Standweg) auf dem BAZ	123

		Seite
Abb. 84:	Werkzeugversuchsreihe (Standweg) in der Simulation	124
Abb. 85:	Lernkurve des untrainierten Systems	125
Abb. 86:	Sequenz t=0s	126
Abb. 87:	Sequenz t=3s	126
Abb. 88:	Sequenz t=8s	126
Abb. 89:	Sequenz t=11s	126
Abb. 90:	Systemaufbau MCQTI	127
Abb. 91:	Textfile- Übergabe der Parameter an das System	128
Abb. 92:	Liftchart, Vergleich Referenzmuster zu aktuellem Muster	130
Abb. 93:	Scatterplot, aktuelles Muster	130
Abb. 94:	Beziehungsdiagramm, aktuelles Parametermuster	131
Abb. 95:	Clusteranalyse im Detail	132
Abb. 96:	Liftchart für Cluster 6	133
Abb. 97:	Clusterbeziehungen 6,7,10	133
Abb. 98:	Parametermuster, Wahrscheinlichkeiten	134
Abb. 99:	Prognose Werkzeugstandweg nach Optimierung	135
Abb. 100:	Variation des Kühlmitteldruckes	136
Abb. 101:	Ursache- Abhängigkeitsdiagramm, Werkzeugstandweg	137
Abb. 102:	EB, Erhöhung Schnittgeschwindigkeit, Reduktion Maschinenvibration	138
Abb. 103:	Liftfaktordiagramm nach der Optimierung	138
Abb. 104:	Diagramm Kühlmitteldruck zu Spindellast	139
Abb. 105:	Benutzerschnittstelle, IQUBE	140
Abb. 106:	Standwegverlängerung, Lernkurve aus Applikationen.	141

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	I
Formelverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VI
Inhaltsverzeichnis	VIII
1. Einleitung	1
1.1. Wissenschaftstheoretische Einordnung, Ziel und Aufbau der Arbeit	1
1.2. Ausgangslage und Problemumfeld	2
1.3. Prozess- und Systemorientierte Qualitätssteuerung	4
2. Stand der wissenschaftlichen Theorie	7
2.1. Qualitätsmanagement- Methoden und –Techniken	7
2.1.1. Quality Function Development (QFD)	7
2.1.2. Statistische Prozesskontrolle (SPK)	8
2.1.3. Six Sigma Methode	8
2.1.4. Spezielle Qualitätssteuerungstechniken	10
2.1.5. Literaturrecherche zu innovativen Prozessanalyse Verfahren	11
2.2. Knowledge Discovery in Databases	12
2.2.1. Mathematisch, technologische Grundlagen des KDD	19
2.2.2. Optimierter KDD-Prozess	36
2.3. Fazit	37
3. Untersuchung zum Stand der Technik im Anwendungsbereich	39
3.1. Parameter- Erfassungssysteme	39
3.2. Erfassungs- Techniken	41
3.3. Datennetze	43
4. Präzisierung der Aufgabenstellung	45
5. Theoretische Untersuchung im Anwendungsgebiet	48
5.1. Prozessparameter- Typen und Charakteristiken	48
5.2. Parameter-Abhängigkeiten und Wechselwirkungen	50
5.3. Parameter-Aktionszyklen im Prozessregelkreis 2	51
5.4. Prozess-Steuerung im Prozessregelkreis 2	51
5.5. Prozess-Optimierung im Prozessregelkreis 2	52
	VIII

	Seite
6. Qualitätsbereiche und Prozessparameter	53
6.1. Qualitätseinflussbereiche in PRK2-Prozessen	53
6.2. Prozessparameter – Gruppen im PRK2	54
6.2.1. Parameter im Qualitätsbereich Werkzeug	54
6.2.2. Parameter im Qualitätsbereich Werkstück-Material	56
6.2.3. Parameter im Qualitätsbereich Maschine	58
6.2.4. Parameter im Qualitätsbereich Peripherie	60
6.2.5. Parameter im Qualitätsbereich Anwendung/Operating	63
6.2.6. Parameter im Qualitätsbereich Werkstück-Betriebsmittel-Logistik	64
6.3. Okkulte Störungen in PRK2- Fertigungsprozessen	66
6.4. Fertigungsprozess-Steuerung im Workflow	66
6.5. Analysetableau als Ausgangsbasis des Systemmodells	68
7. Entwicklung des Prozessmodells und Methodensystems	71
7.1. Quality Networking als innovatives Prozessmodell	71
7.2. Entwicklung des Methodensystems auf Basis des Analysetableaus	75
7.3. Methode der kontinuierlichen Qualitätsverfolgung und –Verbesserung	78
7.4. Visualisierung der Ergebnisse	99
7.5. Generierung von Wissen	101
7.6. Innerbetriebliches Know How als Wissensschatz	102
7.7. Auswirkungen auf das Qualitätsmanagement – Modell	104
8.0. Fertigungsprozess- Qualitätssteuerung	108
8.1. MCQTI- Einsatz zur betrieblichen Fertigungssteuerung	108
8.2. MCQTI- Nutzen beim Einsatz zur Fertigungsprozess-Steuerung	109
9. Experimentelle Untersuchung im Anwendungsgebiet	111
9.1. Testumgebung, Basis der Validierung im Realsystem	111
9.2. Validierung des Systems	121
9.3. Generierung von Testdaten aus dem Realsystem	126
9.4. Versuchsaufbau, Testumgebung und Aufgabe	126
9.5. Störungsanalyse	128



	Seite
9.6. MCQTI- Regelkreis und Phasenmodell	129
9.6.1. Diagnose-Phase der Parameterkonstellation	129
9.6.2. Optimierung-Phase des Modells	132
9.6.3. Prognose der Parameter	135
9.6.4. Kontrolle der prognostizierten Werte	137
9.6.5. Visualisierung der Ergebnisse des Regelkreises	140
9.7. Auswertung der Ergebnisse	141
9.8. Quality Networking Erkenntnisse	142
10. Zusammenfassung	147
Literaturverzeichnis	XI
Anhang	XXXII

## **1. Einleitung**

Der globalisierte Wettbewerb und technische Fortschritt zwingen die Unternehmen ihre betrieblichen Organisationsstrukturen und Geschäftsprozesse den veränderten Rahmenbedingungen anzupassen [WAR92], [POR04]. In diesem Zusammenhang wird das Fertigungs- und Qualitätsmanagement vor neue Prozessgestaltungs- und Steuerungsaufgaben gestellt [ALT06], [BAI03], [OV02/2].

### **1.1. Wissenschaftstheoretische Einordnung, Ziel und Aufbau der Arbeit**

Ziel der Arbeit ist, einen innovativen Lösungsansatz im Qualitätsmanagement zu erarbeiten. Hierzu wird ein integratives Qualitäts-Steuerungssystem vorgestellt, in dem innovative Prozessanalyse- und Steuerungs-Methoden im Qualitätsengineering erstmals zum Einsatz kommen. Mit diesem wird der technische Fortschritt mit dem Qualitätsengineering synchronisiert und Fertigungsunternehmen auf dem Weg in die Digitale Fabrik begleitet [OV03/10].

Die Arbeit ist in 10 Abschnitte gegliedert. Kapitel 1 untersucht die Ausgangssituation und industriepraktische Relevanz des Themas. Im Kapitel 2 wird der Stand der Wissenschaft dahingehend untersucht, in wieweit mit derzeit gebräuchlichen und fortentwickelten QM-Methoden die in der erweiterten Prozesslandkarte definierten Aufgaben gelöst werden können. Kapitel 3 skizziert den Stand der Prozess-Parameter Erfassungs-Technik. Im Kapitel 4 wird die Aufgabenstellung präzisiert. Abschnitt 5 behandelt Prozessparametermerkmale und die Charakteristik von Fertigungsprozessen - und zusammen mit Kapitel 6 die Anforderungen und Rahmenbedingungen zur QMS-Entwicklung.

Kapitel 7 beschreibt das Quality Networking als theoretischen Lösungsansatz - und MCQTI als das darauf gründende Methodensystem. Im Kapitel 8 wird die Einbindung des MCQTI-Systems zur Fertigungsprozesssteuerung sowie die damit erzielbare Effekte und Nutzen erläutert.

Im Kapitel 9 wird das Lösungsmodell anhand einer industriepraktischen Aufgabe experimentell validiert. Punkt 10 fasst die Forschungsergebnisse, Perspektiven und Grenzen der Modelllösung zusammen.

## 1.2. Ausgangslage und Problemumfeld

Im Spannungsfeld zwischen Produktivität und Kundenzufriedenheit sind Produkt- und Prozessqualität für Fertigungsunternehmen entscheidende Erfolgsfaktoren [JUR04], [SCH04], [BÖM03]. Die Literatur bietet ein breites Spektrum mit Strategien, die Pfade zu umfassender Qualität aufzeigen [JOR03], [SOB00], [GAT03].

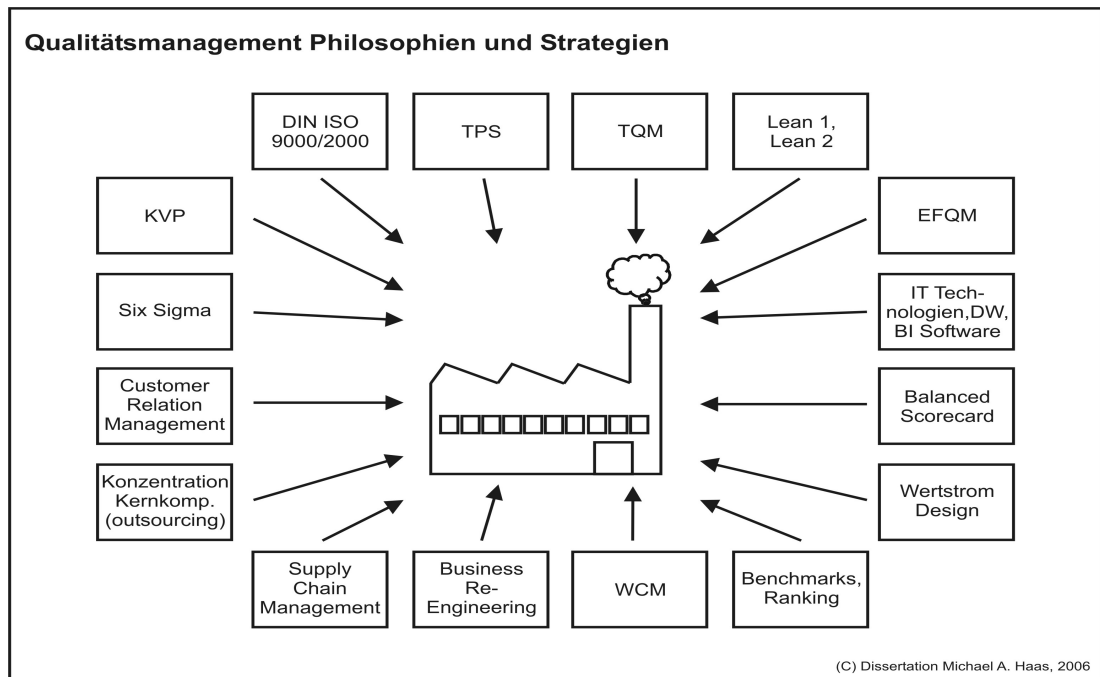


Abb. 1: Qualitätsmanagement - Strategien für Qualitätsverbesserung

Erfolgversprechend sind aus dem asiatischen Kulturkreis stammende Methoden; dem Toyota Production System (TPS) wird eine Premiumstellung zugesprochen [FAL06], [HEN06], [MIT06], [SHU04], [ISH80].

Die Vielzahl angebotener Hilfsstellungen lässt schnelle Erfolge vermuten. Zwischen theoretischen Ansprüchen und betrieblichen Realitäten bestehen jedoch Diskrepanzen, die am Beispiel der globalisierten Automobilindustrie deutlich werden [OV04/14], [SPA02]. Diese Branche hat mit über Normenstandards hinausgehenden Anforderungen im Qualitätsengineering eine Vorreiterrolle übernommen [FRA03], [KLI99]. Gleichzeitig verzeichnet gerade dieser Industriesektor - laut KBA-Statistik - noch immer vielzählige qualitätsbedingte Produktrückrufe. Bei hochgradiger Arbeitsteilung werden die Qualitätsprobleme an die Zulieferbetriebe durchgewälzt [BAB04], [HOF05]. Die Problematik erfasst somit weite Bereiche der Industrielandschaft [KAT05], [DIE02], [OV06/3], [BAB04], [HOF05].

Qualitätszertifizierungen der vergangenen Jahre haben die Erwartungen bezüglich Verbesserungen der Qualitätsnetzwerke nur teilweise erfüllt [SCH03], [BAR03]. In

der Praxis beobachtbare Mängel sind Indizien, dass Produkt- und Prozessqualitäten mit derzeit gebräuchlichen Qualitätsmanagementtechniken nur unzureichend gesichert und kontinuierliche Qualitätsverbesserungen synchron mit dem technischen Fortschritt nicht gewährleistet werden kann [KLE05/1], [OV03/1], [FRA01].

Der deutschen Facharbeiterschaft hingegen wird hohe Fachkompetenz bestätigt. Dem Testat stehen empirische Erfahrungen gegenüber, wonach im Fertigungsbereich mehr als 70% der Qualitätsmängel auf Unzulänglichkeiten menschlicher Arbeit zurückzuführen sind [FRO04], [VOL99]. Erfolgsmeldungen aus dem Betrieblichen Vorschlagswesen zeigen nur die Spitze nicht erschlossener Verbesserungspotentiale [BEE06/1]. Gründe hierfür sind u.a. Hemmnisse bei Mitarbeitern, individuelles Expertenwissen zu mobilisieren und in die betriebliche Nutzung einzubringen [BAR03]. Diese Phänomene sind bei der Entwicklung mitarbeiterorientierter Qualitätsmanagementsysteme zu berücksichtigen. Die Dringlichkeit ergibt sich nicht zuletzt aus dem Umstand, dass mit altersbedingtem oder frühzeitigem Ausscheiden erfahrener Facharbeiter den Unternehmen wertvolles Expertenwissen verloren geht.

Die Fachdisziplin Wissensmanagement befasst sich vorrangig mit systematischer Speicherung, Verwaltung, gezielter Suche und Bereitstellung von archiviertem Wissen [WIL06], [OV07/5], [WIL89], [FOR06]. In das Qualitätsengineering ist Wissensmanagement nur zögerlich vorgedrungen [KOP07], [SCH91]. Dort sind Methoden und Systeme gefordert mit Fähigkeiten, formales und informales Mitarbeiter know-how systematisch zu erfassen, selbstlernend neues Prozesswissen zu generieren und dieses automatisch für Qualitätsverbesserungen bereitzustellen. Elemente für derart qualifizierte Systeme stellt die Informatikwissenschaft bereit, die Tools werden im Qualitätsengineering jedoch bisher nicht genutzt [MAY01], [ROM04].

Das Qualitätssteuerungssystem steht mit Prozess-, System- und Mitarbeiterorientierung, kontinuierlichem Lernen und Verbessern sowie Fehlervermeidung im Ziel- und Prinzipien Korridor der Qualitätsnorm ISO/DIN 9000 und stellt -industriellen Anforderungen entsprechend- das Ideal Nullfehler-Fertigung in den Fokus.

### 1.3. Prozess- und Systemorientierte Qualitätssteuerung

Der Wandel von funktions- zu prozessorientierter Organisation setzt sich in der Fertigungsindustrie zunehmend durch [SCJ06], [GAD06]. Strukturen hierzu sind in Prozessmodellen und integrierten Qualitäts-Plandaten generierenden ERP-Management-Systemen vorgezeichnet [LIE04], [STA01], [SAT01], [WAG06], [OV04/2], [REI01], [SUZ89]. Zukunftsfähiges Qualitätsmanagement folgt den Entwicklungslinien, die auf Integration der Anwenderprozesse in drei Richtungen zielen:

- Horizontale Integration einzelner Wertschöpfungsprozesse auf der Leit – und Ressourcenebene. [GÜM03], [HAN03].
- Vertikale Integration bereichsspezifischer Applikationsprozesse der Leitebene mit Anwendungen auf der Ressourcen- bzw. Durchsetzungsebene im Prozessregelkreis (PRK) 1 [SÜS01], [MER90], [BEC04], [WIL91], [WIL89/2], [WIL87], [SCH88].
- Verknüpfung unternehmenseigener Anwendungen mit webbasierten Applikationen externer Geschäftspartner (z.B. collaborative Engineering und Manufacturing) [LIC03], [HER01], [GLA99], [STO01], [OV01], [OV03/2], [OV04], [OV99].

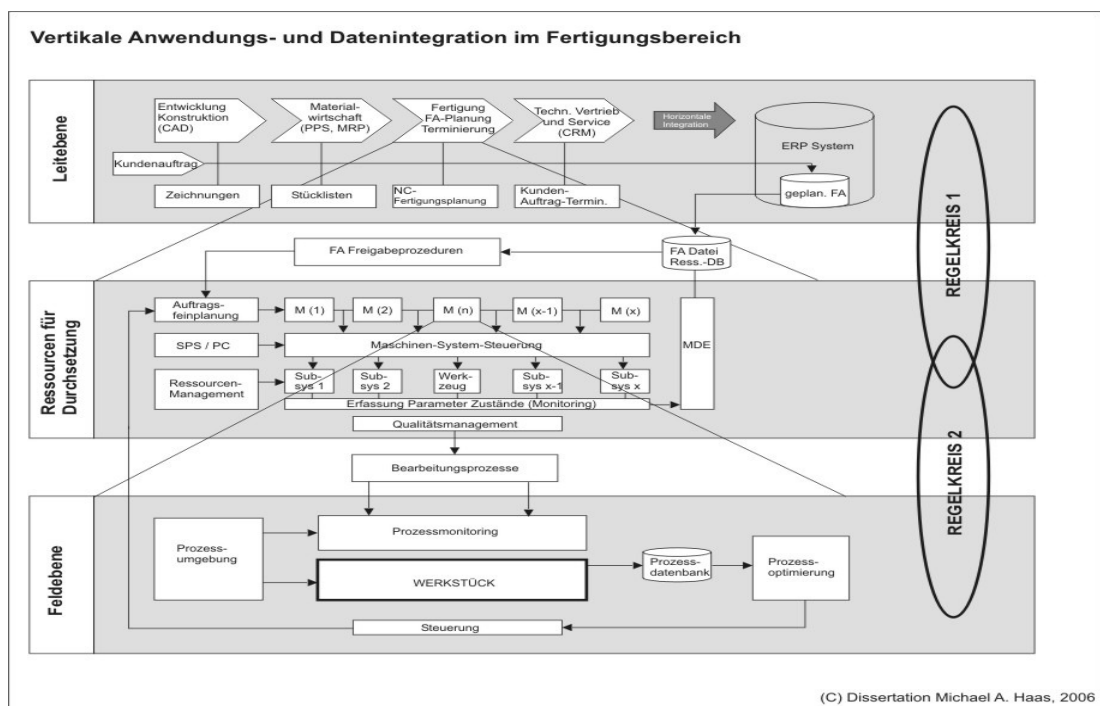


Abb. 2: Vertikale Prozess-Integration, Struktur und Regelkreise

Prozess- und Systemintegration wird mit Regelkreisen organisiert vgl. Abb. 2. Vertikale Integration im Bereich Fertigung synchronisiert Managementprozesse auf der Leitebene mit Dispositionsprozessen auf die Ressourcenebene [MAN06]. Fertigungsauftragssteuerung ist die Schnittstelle, Fertigungsaufträge (FA) sind „Treiber“ im System [OV91], [GOT03], [OV06]. Auf Ressourcenebene wird Fertigungsauftragsfeinplanung [DÜH06], [STO07], Instandhaltung [MAR06], [ADO07] sowie Betriebsmittel- und Werkzeugmanagement praktiziert. Qualitätsmanagement befasst sich überwiegend mit Fertigungsergebniskontrolle und Qualitätssicherung auf Basis von Statistiken, deren Erstellung von moderner CAQ- und sog. Business- Intelligence- Software unterstützt wird [OV07/9], [STA05]. Teilschritt zu prozesszentrierter Qualitätssteuerung ist die direkte Übergabe von Messdaten an CAQ- Module in integrativen Management-Systemen [OV06/17], [STO01].

Informationstechnisch fließen im PRK1 Parameter-Soll-Daten aus der Leitebene mit Parameter-Ist-Daten aus der Ressourcenebene in die Fertigungsdatenbank (FDB). In der Datenbank wird der aktuelle technische Stand des Fertigungssystems, der Vorrat und Status gegenwärtig bearbeiteter Fertigungsaufträge abgebildet. Über den PRK1 wird der Durchgriff zum bearbeiteten Fertigungsauftrag [GER00], in fortschrittlichen Systemen bis zum augenblicklich bearbeiteten Arbeitsgang, möglich [AUL06/2], [OV03/6].

Manufacturing Execution Systeme (MES) sind (Software-)Bindeglieder zwischen der PPS/SCM Auftragsplanung und -Durchsetzung. MES Systeme nutzen FDB-Informationen, um optimale Auftragsreihenfolgen zu ermitteln und simultan den um Ausführung konkurrierenden FA's maschinelle Kapazitäten zuzuteilen [LIC06], [LOE07]. Ein innovativer Lösungsansatz mittels IT- Software- Agenten beschreibt [TIM01]. Zur MES- Software Auswahl siehe [KIP01], [OV03/3], [OV04/1].

In der Literatur wird vertikale Prozessintegration im PRK1 **einstufig** beschrieben, - und in der Fertigungsindustrie so praktiziert [OV06/85], [SCH07/1]. Fortschrittliche Qualitätssteuerung darf sich jedoch nicht auf Ergebniskontrolle und Qualitätssicherung der PRK1 Prozesse beschränken, sondern muss Fehlervermeidung als strategisches Mittel zur Näherung an das Ziel Null-Fehler Produktion den gesamten Fertigungsprozess umfassen. Dazu wird erforderlich, den Bearbeitungs-Prozess in den Steuerungskreis einzubeziehen. Sodann ergibt sich das in Abbildung 2 skizzierte Prozessmodell mit dem Prozessregelkreis 2 (PRK2).

Der PRK2 ermöglicht, Qualität an erster Fertigungsstufe simultan mit realen Betriebsbedingungen ganzheitlich, d.h. einschließlich Bearbeitungsprozesse, an **der** „Quelle“ zu steuern, an der Fertigungsqualität entsteht [SCH06],[OV04/7].

Kontinuierliche Qualitätsverbesserungen von PRK2 Prozessen sind das Objekt der Untersuchung. Qualitätssteuerung im PRK2 stellt dem Qualitätsmanagement neue, in der Prozesslandkarte (blau unterlegte) Aufgaben (vgl. Abb.3).

Ebene	QM-Ziele	QM-Strategien	P R O Z E S S – P A R A M E T E R				
			Planung	Erfassung	Analyse	Steuerung	
			Soll	Ist	Abweich.		
Leitung	Kundenzufriedenheit		QM-Methoden und Instrumente				Prozessregelkreis 1
Gesch.-Prozesse	Optimierung	kontin. Verbess.	PDCA / six sigma Methodik			BSC	
Produkte	- Funktionalität	synch.Engineering	CAD,CAE	BDE-Systeme	BI / CAQ-Statistik	Kennzahlen (iterativ)	
Material	- Verfügbarkeit	JIT, coll.Manufact.	SCM,PPS CAPP-CAM				
Fertigung	- Termin-Treue	ADZ-Minimierung		MES-MDE-			
Ressourcen		Total-Productiv	Prozess-	Condition Monitoring	BI / CAQ-Statistik	Kennzahlen (iterativ)	Prozessregelkreis 2
Maschinen und Betriebsmittel	-Verfügbarkeit -optim. Nutzung - Dimensionierung	Maintenance TPM Zustands- vs Zeit-gesteuerte IH	FMEA, Simulation Fert.-Fluss.				
Prozesse			Simulation	kontin.	online	real-time	
(Feldebene)	Null-Fehler-Fertigung	Fehler-Vermeidung	Fertigungs-Prozesse	Prozess-Monitoring	Prozess-Analytik	kontinuierlich (automatisch)	

Abb. 3: Prozesslandkarte - Qualitätssteuerung bei vertikal integrierter Fertigung

Die im PRK2 angestrebten Qualitätsziele stellen an Qualitätsmanagement-methodiken hohe Anforderungen. Die Problemlösungskompetenzen gebräuchlicher und innovativer Qualitätsmanagementtechniken werden im Kapitel 2 untersucht.

## **2. Stand der wissenschaftlichen Theorie**

Qualitätsmanagement- (QM) Techniken sind in Qualitäts-Management-Systeme (QMS) und QM-Hilfstechniken (Tools) zu unterscheiden. QMS sind Methodensysteme, die nach dem Plan-Do-Check-Act, oder Regelkreis-Schema Prozess-Verbesserungen ermöglichen [AUL07/1], [PFE66], [HAN06], [GOG94]. Zu dieser Gruppe zählen six sigma, 8D, Wertanalyse, nach neuerer Literatur auch Balanced Scorecard (BSC) als umfassendes, kennzahlenbasiertes Steuerungssystem [SCH02]. Komplementär dazu stehen Qualitätshilfstechniken, die je nach Aufgabenstellung in verschiedenen QMS eingesetzt werden. Zu den Hilfstechniken zählen die „klassischen“ Qualitäts- und Managementwerkzeuge, mathematisch-statistische Analyseverfahren, Strukturierungs- und Kreativitätstechniken, Simulation u.a. [OV91], [STO07]. Nachfolgend werden ausgewählte QM-Verfahren und Hilfstechniken untersucht, inwieweit mit diesen die in der Prozesslandkarte (vgl. Abbildung 3) definierten Aufgaben gelöst werden können. Auf detaillierte Beschreibungen wird verzichtet, stattdessen auf die Basisliteratur, insbesondere [LIN02], [HAN04] verwiesen.

### **2.1. Qualitätsmanagement- Methoden und -Techniken**

QM-Techniken, die in Produkt-Entwicklungs-Phasen zum Einsatz kommen, werden selektiv behandelt. Hilfstechniken -insbesondere mathematisch-statistische Verfahren- werden, soweit diese für das Lösungsmodell relevant, kurz beschrieben. Die Funktionalität innovativer Analyseverfahren wird in der praktischen Anwendung erläutert.

#### **2.1.1. Quality Function Development (QFD)**

Mit der QFD-Systematik werden Kundenwünschen stufenweise in technische Produktspezifikationen umgesetzt [AKA90], [SAA94].

Akao schlägt einen dreistufigen Ansatz vor, während ASI (American Supplier Institut) den vierstufigen Ansatz bevorzugt (Produktplanung, Teileplanung, Prozessplanung, Produktion). Basis sind Korrelationstabellen, die in Form eines Hauses angeordnet werden. Zur Struktur des House of Quality siehe [LIN02]. Die



Korrelationstabellen werden mit statistisch gesicherten Zahlen, hilfsweise mit Schätzwerten gefüllt. Die Ergebnisse aus den Korrelationsrechnungen sind unter den Aspekten technische Schwierigkeit und Bedeutung für potentielle Kunden sowie im Vergleich zu Konkurrenzprodukten zu bewerten.

### **2.1.2. Statistische Prozesskontrolle (SPC)**

Statistische-Prozesskontrolle ist eine auf mathematisch-statistischen Grundlagen basierende Qualitätssteuerungstechnik [TAG86/1], [TAG86/2], [SHA88].

Mit SPK werden bereits optimierte Prozesse kontrolliert und relevante Einflussparameter ggf. nachjustiert. Qualitätsregelkarten sind Kerndokumente. Aus den Messdaten (Stichprobenmessungen) wird die Streuung der Qualitätsmerkmale ermittelt. Die Statistiken, Kennzahlen und Grafen machen Abhängigkeiten zwischen zwei Faktoren sichtbar und liefern Indizes zur Prozessfähigkeit, Stabilität und Robustheit der Fertigungsprozesse. Die Stichprobenmessungen dokumentieren Fertigungsergebnisse, nicht das Prozess-Geschehen, das zu mangelhaften Prozessergebnissen führt. Die Wechselwirkungen zwischen den fertigungsqualitätsbestimmenden Prozessparameter sind aus den Statistiken nicht zu erkennen [SCH07/1], [OV07/12].

Entscheidend ist außerdem der Erfassungszyklus. Bei Messungen in unregelmäßigen Zeitabständen sind temporäre Fehler, die von einzelnen Systemparametern (Maschinen, Subsystemen, Prozessumfeld, Operating, etc.) verursacht wurden, nicht identifizierbar. Dafür wird kontinuierliches Monitoring erforderlich, das Parameterzustände und Prozessabläufe in kurzen Takten dokumentiert.

### **2.1.3. Six Sigma Methode**

In der Literatur wird Six Sigma als Instrument zur Ausformung der TQM Philosophie interpretiert. [SCH00], [OV04/7]. Six Sigma ist in der Zielsetzung nichts anderes, als betriebliche Prozesse so zu gestalten, dass wichtige Qualitätsmerkmale mit +/- 6-facher Standardabweichung (six sigma) innerhalb vorgegebener Toleranzgrenzen liegen. Im Verfahren selbst kommen Methoden und Techniken zum Einsatz, die zum

Teil seit mehr als 50 Jahren bekannt und gebräuchlich sind. Das Verfahren wird zunehmend von modernen Software-Instrumenten unterstützt [OV07/8].

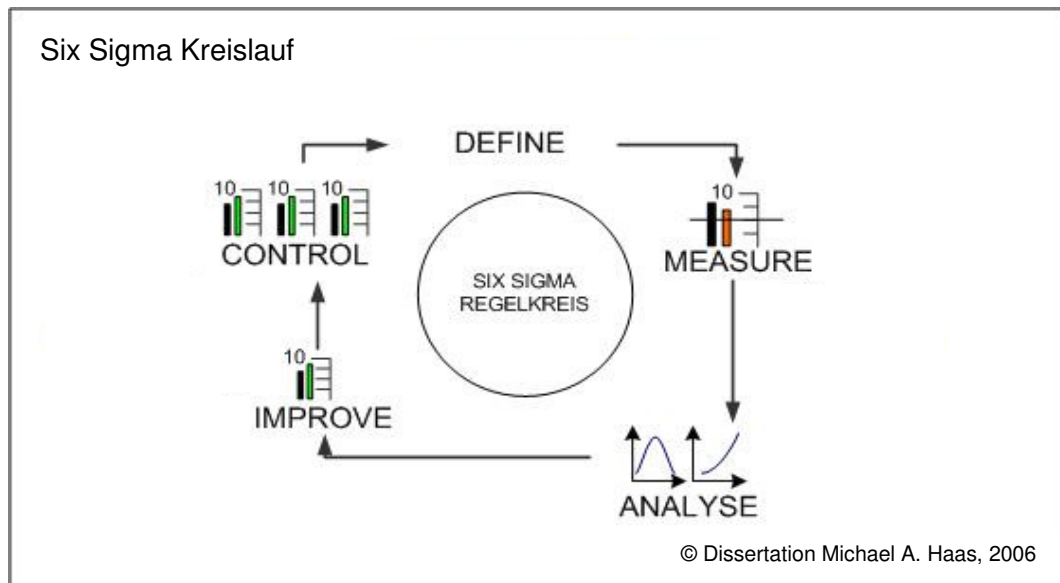


Abb.4: Six Sigma Kreislauf

Six Sigma unterteilt sich in fünf Phasen (vgl. Abb. 4):

**DEFINE** (Problemdefinition): Beschreibung des Problemfeldes, Bewertung und Gewichtung einzelner Prozess-Schritte, die den Mangelzustand kennzeichnen. Bewertung und Gewichtung sind nach den Kriterien (a) wertschöpfend, (b) nicht wertschöpfend, (c) wertvernichtend, oder -unter dem Aspekt Kundenzufriedenheit- als (d) unverzichtbar, (e) wichtig, (f) wünschenswert einzustufen.

**MEASURE** (Messen): Sachverhalte zu einzelnen Prozessschritten sind zu messen und als „Hardfacts“ darzulegen.

**ANALYSE** : Mit „Warum – Fragestellungen“ werden Problemursachen tiefgründig ausgeleuchtet. Hierbei kristallisieren sich Prozessschritte heraus, die sich als „Zeitfresser“, Kostentreiber oder -bezüglich Kundenwünsche- als nicht zielführend erweisen.

**IMPROVE** (Verbesserungen modellieren): Nicht zielführende Prozessschritte werden entfernt. Die daraus ergebenden Wirkungen werden am Modell, danach in praktischen Testläufen überprüft.

**CONTROL** (Implementierung, Überwachung, Steuerung): In Modell- und Praxis-tests bewährte Lösungen werden in die Anwendungen übernommen. Die dokumentierte Lösung ist hinsichtlich Effektivität und Effizienz permanent zu

überwachen und bei auftretenden Störungen anhand zuvor erstellter Reaktionspläne zu modifizieren. Dieser Zirkel soll *kontinuierliche* Verbesserungen gewährleisten.

Die in den 80er-Jahren von Motorola entwickelte Methode [WAL01] wurde inzwischen zu einem projektbezogenen QM-Instrument fortentwickelt [SCH00], [OV04/7]. In Deutschland wird das Six Sigma-Verfahren überwiegend für Verbesserungen bereichsübergreifender Geschäftsprozesse [WAT04], [KRO03], [WUE03], zur Arbeitsablaufgestaltung [PUA02], im Bereich Materialwirtschaft und Logistik (JIT), im Vertrieb (Kunden- und Service-Auftragsabwicklung) eingesetzt. Aus dem Bereich Fertigung liegen vereinzelt Erfahrungsberichte zu speziellen Anwendungen vor [GIN04], [BUE01], [GAD06].

#### **2.1.4. Spezielle Qualitätssteuerungstechniken**

Vornehmlich zur Steuerung von Montageprozessen stehen aus dem asiatischen Kulturraum stammende Methoden zur Verfügung [MIT06],[FAL06].

- POKA-YOKE setzt Null-Fehler Produktion als Leitziel. Auszuschalten sind Fehler, die durch Vergessen, Vertauschen, Verwechseln, Lesefehler oder kommunikative Missverständnisse zu Stande kommen. Fehler sollen am Entstehungsort erkannt und so die Weiterbearbeitung fehlerhafter Produkte unterbunden werden.
- JIDOKA meldet von Sensoren erkannte Fehler an einen Leitstand. Anschließend erfolgen detaillierte Ursachenanalysen zur Vermeidung von Wiederholungen.
- ANDON meldet Fehler in (Fließ-) Fertigungsprozessen am Ort des Auftretens visuell auf Anzeigetafeln. Damit werden Fehlerauftritte lokalisiert und zur zeitnahen Behebung angestoßen.
- FÜNF S (**S**eiri-**S**eiton-**S**eisu-**S**eiketsu-**S**hitsuke) setzt bei der Arbeitsplatzgestaltung an. Über die Tugenden Ordnung, Ordnungsliebe, Sauberkeit, Ordnungssinn und Disziplin wird die Basis für die Qualität menschlicher Arbeit geschaffen.
- MUDA-MURA-MURI beschreibt die Verlustphilosophien des Toyota Produktions-Systems (TPS). Der Lösungsansatz befasst sich mit der Gestaltung optimaler Organisationsstrukturen und Arbeitsprozesse, um Verschwendungen und Verluste zu vermeiden, die durch Unausgeglichheiten, Asynchronität und Mitarbeiterüberlastung zustande kommen [BEE06/2].

- KAIZEN steuert im sogenannten shop floor Management den Material- und Fertigungsauftragsdurchlauf - jedoch nicht den (Teile-) Herstellungsprozess.

Mit den bisher beschriebenen Methoden werden Qualitätssteuerungsaufgaben auf der Leit- und Feldebene und im Prozessregelkreis 1 gelöst. Nachfolgend werden Lösungsansätze für Aufgaben im Prozessregelkreis 2 untersucht.

#### **2.1.5. Literaturrecherche zu innovativen Prozessanalyse Verfahren**

Im Zeitraum Juli 2002 bis Juli 2005 wurden über mehrere Fachdatenbanken Literaturrecherchen durchgeführt, um zu erkunden, inwieweit wissenschaftliche Beiträge zu innovativen Datamining-Analyse-Verfahren vorliegen und im Qualitätsengineering eingesetzt werden. Suchkriterien waren die Begriffe Prozess-Analysen, Data-Mining, Qualitätsmanagement und Neuronale Netze. Zu den angesprochenen Datenbanken siehe Anhang I. Dabei stellte sich das im Folgenden dargestellt Zwischenergebnis heraus:

a) Data-Mining wird in mehr als 2.500 wissenschaftliche Abhandlungen behandelt, womit sich ein facettenreiches Bild zu den theoretischen Grundlagen des Data-Mining abbildet. Die während des Untersuchungszeitraumes rasch wachsende Anzahl wissenschaftlicher Publikationen lässt steigendes Interesse am Einsatz von Data-Mining-Analyse-Techniken erkennen.

b) Data-Mining in der Prozessindustrie (Chemie, Raffinerien, Pharma) wird in mehreren Pilotprojekten beschrieben. Diese befassen sich überwiegend mit Geschäftsprozessen und mit der Anlagensteuerung (Facility Management) auf Ressourcenebene.

Zum Data-Mining- Einsatz im kommerziellen Bereich (Finanzanalysen, Aktienkurs-Prognosen, Kaufverhalten diverser Konsumentengruppen, etc.) liegen mehrere Erfahrungsberichte vor [BUS05].

Data-Mining Anwendungen zur Qualitätssteuerung wurden bis zum Abschluss der DB-Recherche nicht offenbar. Statistische Auswertungen mit Business Intelligence Software (z.B. OLAP) oder Auswahl und Konfiguration von Arbeitsfolgen mittels Künstlicher Neuronaler Netze (KNN) sind seltene Ausnahmen [OV06], [GER00].

Methodensysteme, die selbstlernend neues Prozesswissen generieren und für Qualitätssteuerungsaufgaben anwendbar sind, wurden bisher nicht publiziert. Diese Erkenntnisse lassen darauf schließen, dass mit vorliegender Arbeit auf dem Gebiet der angewandten Forschung Neuland beschritten wird.

## 2.2 Knowledge Discovery in Databases

Wissensgenerierung aus kontinuierlicher Prozessbeobachtung ist für kontinuierliches Verbessern von zentraler Bedeutung; die Methodologie wird deshalb eingehend erläutert.

Knowledge Discovery in Databases (KDD) beschreibt Wissensgewinnung aus Datenbanken. KDD- Prozesse nutzen dazu Systematiken und Algorithmen aus den Bereichen Maschinelles Lernen, Datenbanksysteme und Statistik (vgl. Abb. 5).

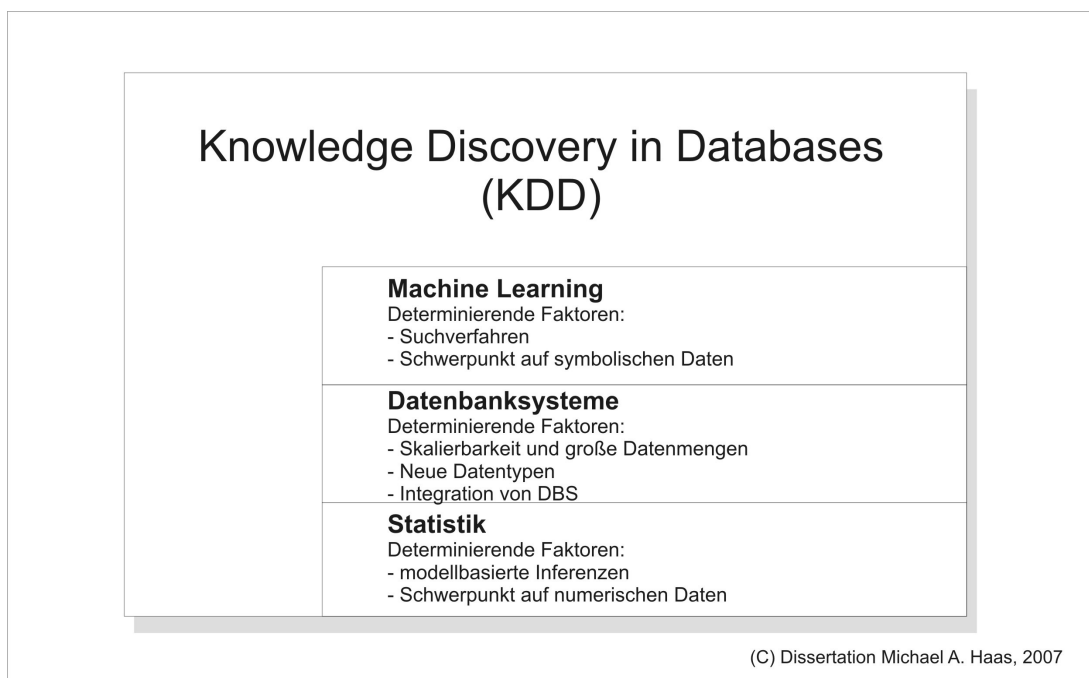


Abb. 5: Systemkomponenten für Wissensgenerierung.

Nicht Daten oder Informationen, sondern echtes Wissen mit hohem Nutzenpotential soll gewonnen werden. Wie OLAP benutzt der KDD -Prozess Datenbanken als Datenbasis, geht aber bei der Auswertung der Daten über einfache Analyseverfahren hinaus. In den KDD- Prozess eingegliedertes Data Mining (DM) identifiziert Muster in Datenbeständen, entdeckt Prozess-Regeln und Erkenntnisse über kausale Zusammenhänge.

Populärwissenschaftliche Medien und Hersteller von Data Mining Werkzeugen suggerieren, KDD- Prozesse könnten neues Wissen automatisch erzeugen. Die Realität ist von dieser idealtypischen Vorstellung jedoch entfernt [FAY96].

Zur Strukturierung von KDD- Prozessen werden diverse Vorgehensmodelle angeboten [FAY96]. Faktisch lehnen alle an das von [Box et al. 1970] im Rahmen der Zeitreihenanalyse eingeführte Modell-Schema an, in dem inzwischen zusätzlich betriebswirtschaftliche und problemspezifische Schnittstellen berücksichtigt werden. Singuläre KDD Prozesse laufen in linearen Abfolgen. Ein Abschnitt darin wird von Data Mining (im begrifflich engeren Sinn) besetzt.

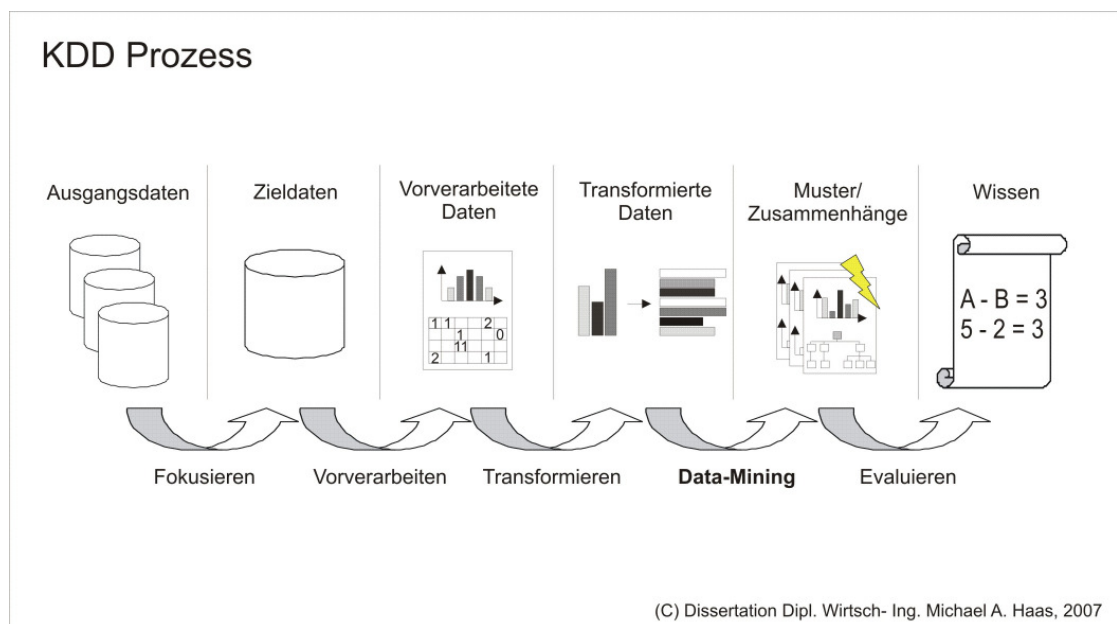


Abb. 6: Standardisierter KDD Prozess

Abbildung 6 zeigt die ersten drei KDD Prozesse konzentrieren sich auf den Aufbau des Datenmodells, auf dem Data Mining Prozeduren aufsetzen. Die Schritte dahin im Einzelnen:

Der KDD Prozess besteht aus den Teilbereichen (Teilprozessen)

- Fokussierung der Ausgangsdaten
- Vorverarbeitung der Zieldaten
- Transformation der Daten
- Data-Mining
- Evaluierung der Ergebnisse

### **Fokussierung der Ausgangsdaten**

Diese Stufe bildet die Grundlage (Basiswissen). In zum Teil mehreren Ausgangs-Datenbanken oder –Listen ist das Basiswissen des Prozesses enthalten. Das Problem wird in ein Format gebracht, so daß KDD-Techniken angewandt werden können. Die zu erwartenden Ziele werden definiert. In dieser Stufe könnten auch die Erfahrungen von Experten (sogenanntes Expertenwissen) genutzt werden. Es werden somit die Ausgangsdaten aus mehreren (Daten-) Quellen in eine Zieldatenbank überführt.

### **Vorverarbeitung der Zieldaten**

Inhalt dieser Stufe ist die Sondierung der Daten. Die Anzahl der Variablen wird i.d.R. reduziert und erste statistische Auswertungen werden auf Plausibilität (Ausreißerproblematik, Stetigkeit der Datenfolgen, etc.) gemacht. Die Vorverarbeitung lässt sich somit in die drei Teilbereiche Datenvorverarbeitung, Datenbereinigung und Datenreduktion mit dem Ziel, einen auswertungsfähigen Datensatz zu generieren untergliedern.

a) *Elimination von Ausreißern* mit dem Ziel, den Datenbestand um atypische Beobachtungen zu bereinigen, damit die Verfahren keine Artefakte in Form von nicht im Datenbestand existierenden Effekten produzieren. Diese Ausreißerelimination ist dann sinnvoll, wenn man sich auf die wesentlichen charakteristischen Merkmale des Datenbestandes konzentrieren möchte. In anderen Fällen führt eine naive Ausreißerbereinigung (etwa durch Elimination der außerhalb des  $3\sigma$ -Bereichs liegenden Beobachtungen) hingegen dazu, dass man interessante und seltene Sondersituationen maskiert; in diesem Fall ist eine problemgerechte Diagnostik und Modellierung angemessen, wie man sie beispielsweise mit den in den beiden Sammelbandbeiträgen von Küsters et al. (2000a, 2000b) behandelten Ausreißerdiagnoseverfahren im Kontext der Regressions- und Zeitreihenanalyse findet.

b) *Reduktion der Variablenanzahl*, z.B. durch eine Dimensionsreduktion mit Hilfe der u.a. in Armingier (1979) ausführlich beschriebenen sowie im Beitrag von Küsters et al. (2000a) skizzierten Hauptkomponenten und Faktorenanalysen. Bei der von Grabmeier et al. (2000) vertieften Clusteranalyse lässt sich die Variablenmenge reduzieren, indem man anstelle der einzelnen Beobachtungen Ähnlichkeits- und Distanzmaße zwischen Beobachtungen als Analysegrundlage benutzt werden.

c) *Behandlung fehlender Werte* entstehen durch Informationsverluste. Für diesen Zweck bieten sich diverse Methoden an, die grundsätzlich ein bestimmtes Modell der Generierung der Ausfälle unterstellen und die methodisch teilweise auf dem in der Statistik bekannten EM-Algorithmus (Dempster et al. 1977) basieren. Fehlende Werte, wie sie etwa durch Datenirregularitäten entstehen, müssen aber i.d.R. fachgerecht modelliert werden. Zweckmäßiger Weise bieten sich dafür drei verschiedene Verfahren (vgl. Abbildung 7) an:

t(n)	Messwert	AM	ZM	SW
1	4	4	4	4
2	5	5	5	5
3	Datenlücke	<b>6,5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>
4		<b>6,5</b>	<b>7</b>	<b>5</b>
5	8	8	8	8
6	9	9	9	9
7	Datenlücke	<b>10,5</b>	<b>10</b>	<b>9</b>
8		<b>10,5</b>	<b>11</b>	<b>9</b>
9	12	12	12	12

Abb. 7: Behebung von Datenlücken durch verschiedene Verfahren

- Schwellenwertverfahren (SW)  
Hierbei erfolgt ein Beibehalten des Wertes bis zu seiner nächsten Änderung.
- Mittelwertverfahren (AM)  
Berechnung des Mittelwertes  $t(n)$  aus den beiden Werten  $t(n+1)$  und  $t(n-1)$ .
- Interpolation (ZM)  
Berechnung des zeitlichen Mittels; hierbei geht man davon aus, dass der Wert mit der Zeit weiterläuft; deshalb kann man linear über die Zeit weiter interpolieren.

d) *Re-Kodierung von Variablen* (Skalentransformation, Überführung von metrischen Variablen in ordinale oder nominal-skalierte Variablen durch Diskretisierung, Zusammenfassen von Gruppen etc.). Sinn und Zweck derartiger Operationen ist oft, eine zu hohe und damit unübersichtliche Anzahl von Variablen und Variablenausprägungen durch Indexbildung, Zusammenfassung etc. auf eine kleinere Variablenmenge mit geringerer Ausprägungszahl zu reduzieren. Manchmal ergibt sich aber auch die Notwendigkeit, den Informationsgehalt der Daten zu reduzieren, weil eine bestimmte Methode ein vorgegebenes Skalenniveau



unterstellt. Beispielsweise werden ordinal skalierte Variablen im Rahmen der Kontingenztafelanalyse mit loglinearen Modellen oft als nominal-skalierte Variablen aufgefasst, da man mit der Standardform der loglinearen Modelle, wie sie in den meisten Statistikpaketen implementiert sind, nur nominal skalierte Variablen analysieren kann.

### Transformation der Daten

In diesem Schritt werden die Daten in ein Data-Mining konformes Format gebracht. Die Transformation der Daten ist notwendig, um die statistischen Eigenschaften der Prozessgrößen (wie Mittelwert, Varianzen, etc.) über alle zu untersuchenden Daten vergleichbar zu verteilen.

Da Messgrößen bei den meisten Anwendungen dimensionsbehaftet sind, muss also zwingend eine Transformation vorgenommen werden, um eine Vergleichbarkeit zu erzielen. Dazu werden Daten entweder standardisiert, normiert, oder logarithmiert.

#### a) Normierung

Eine Möglichkeit der Normierung ist die Transformation der Werte Spalte für Spalte, somit Variable für Variable in das Intervall  $[0,1]$ . Die nachfolgende Gleichung zeigt, wie man aus den originären Merkmalsausprägungen  $x_{ni}$  die normierten Werte  $\Psi_{x_{ni}}$  erhält.

$$\Psi_{x_{ni}} = \frac{x_{ni} - x_{n \min}}{x_{n \max} - x_{n \min}}, \quad \text{wobei gilt } i = 1, \dots, I \text{ und } n = 1, \dots, N$$

$N$  steht dabei für die Anzahl der Prozessvariablen (Spalten) und  $I$  für die Anzahl der Abtastwerte pro Variable (Zeilen).  $x_{n \min}$  bezeichnet den minimalen Wert der Variablen und  $x_{n \max}$  den maximalen.

#### b) Standardisierung

Bei der Standardisierung werden die Prozessvariablen so transformiert, dass ihr Mittelwert null und die Standardabweichung eins ist.

$$\Psi_{x_{ni}} = \frac{x_{ni} - \bar{x}_n}{s_n}, \quad \text{wobei gilt } i = 1, \dots, I \text{ und } n = 1, \dots, N$$

Für den Mittelwert gilt dabei:  $\bar{x}_n = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I x_{ni}$

Die Standardabweichung jeder Variable kann - basierend auf der allgemeinen Formel der Standardabweichung - zusammengefasst werden:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^I (x_{ni} - \bar{x}_n)^2}{I - 1}}, \text{ wobei gilt } n = 1, \dots, N$$

### c) Logarithmierung

Häufig ist es sinnvoll, die Daten zu logarithmieren. Hintergrund ist die Tatsache, dass sowohl in der Natur, als auch in Verarbeitungsprozessen ein prozentuales Wachstum / Ansteigen von Kennzahlen erfolgt.

Dabei ändert sich der Messfehler nicht über den Messbereich, da gerade dadurch die prozentualen Veränderungen von Variablen ausgewertet werden.

Die Wachstumsfunktion innerhalb der Natur, sowie auch in der Technik wird beschrieben durch die Exponentialfunktion  $e$ . Exponentielles Wachstum ist gleichzusetzen mit prozentualem Wachstum. In der Natur und abgebildet in der Technik herrscht somit ein prozentuales und kein lineares Wachstum. Deshalb führt ein Logarithmieren der Messgröße als inverse Operation zur gleichmäßigeren Verteilung der Daten. Im Falle des Logarithmierens sollte der natürliche Logarithmus benutzt werden, da Wachstumsprozesse zur Basis  $e$  erfolgen. Viele nichtlineare Datenstrukturen werden erst nach dem natürlichen Logarithmieren sichtbar; insbesondere existieren skaleninvariante hyperbolische Datenstrukturen im logarithmischen Raum der Basis  $e$ , die nur nach Transformation erkennbar sind.

### **Data-Mining**

Nach der Datenvorverarbeitung liegen die Daten in einer für Data Mining Analysen günstigen Form vor, somit können die Auswertungen durchgeführt werden. Die mathematischen Grundlagen einzelner Data Mining Verfahren werden im Folgenden Kapitel unter 2.2.1 dargestellt. Die Selektion der inhaltlichen Data Mining Aufgabe ist abhängig von der Problemstellungen. Dazu gehören in erster Linie die Erklärung (Regression bzw. Kausalmodelle), die Klassifikation (Diskrimination), die explorative Bildung von Gruppen (Segmentation, Clusterung), die Prognose sowie die

Erfassung von Zusammenhangsmustern (Korrelation und Assoziation). Die Selektion des konkret anzuwendenden Data Mining Algorithmus hängt sowohl von der Data Mining Aufgabe und dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial, als auch von den statistischen und informationsverarbeitenden Verfahren, den benutzbaren Algorithmen sowie von der Verfügbarkeit einer Softwareimplementation ab. Oft beeinflusst auch die Vertrautheit mit dem Datenmaterial die Auswahl des benutzten Verfahrens.

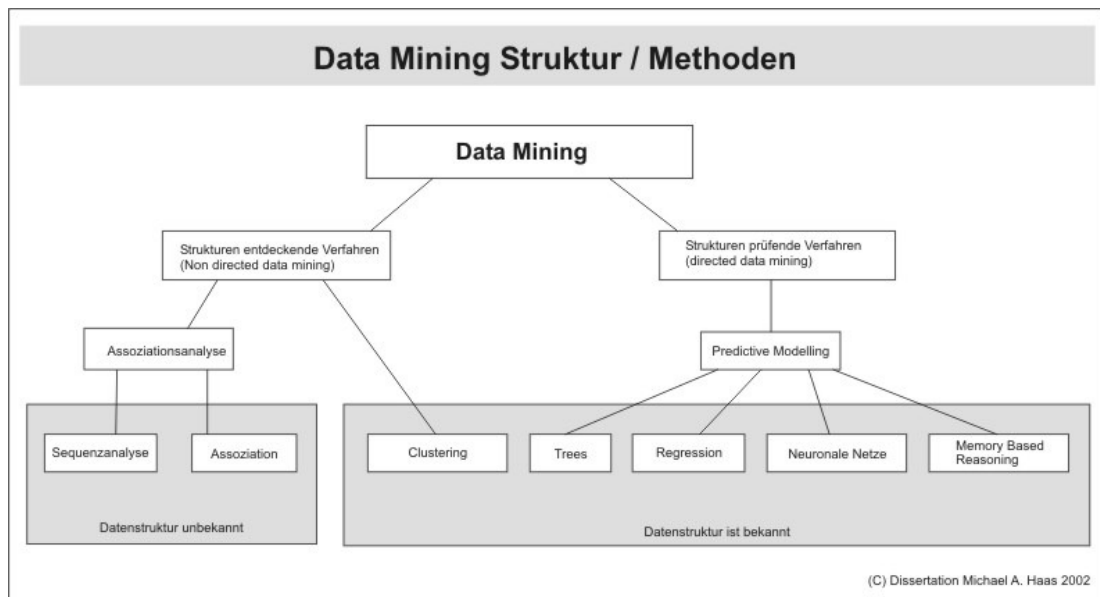


Abb. 8: Data-Mining Struktur / Methoden

In der wissenschaftlichen Literatur wird Data Mining methodologisch nicht einheitlich, jedoch gemeinsam als Prozess beschrieben. Letzterer entdeckt in Datenbeständen Muster, die Eigenschaften und das Verhalten des untersuchten „Systems“ charakterisieren. Die Definitionen verzichten bewusst auf Festlegungen zur Größe der zu untersuchenden Datenbestände und auf den Begriff Information, da Data Mining der sigmatischen Ebene der Semionik zuzuordnet ist.

Wie aus Abbildung 8 erkenntlich, gilt es grundsätzlich innerhalb der Verfahren in struktur- entdeckende und struktur- prüfende Verfahren zu unterscheiden. Weiterführende Literatur hierzu [RUD06], [WIT05].

Markanter Unterschied zwischen Data-Mining und mathematisch-statistischen Methoden ist, dass mit Data-Mining-Techniken die Datenreihen auf nicht-lineare Zusammenhänge hin untersucht werden können. Diese Fähigkeit ist für die vorliegende Aufgabenstellung von essentieller Bedeutung.

## **Evaluierung der Ergebnisse**

Die Interpretation der Ergebnisse ist der entscheidende (Teil-) Prozess im KDD. Dieser Schritt kann in den seltensten Fällen automatisiert werden und erfordert oft eine Steuerung der Ausgabe der Ergebnisse mit Hilfe von Filtern sowie eine Aufbereitung der Ergebnisse mit Kennzahlen und Graphiken, um die Ausgaben auf „interessante“ Informationen einzuschränken. Generische Techniken sind dabei meistens nur für spezielle Verfahren verfügbar.

Die gewonnenen Informationen (Konsolidierung) werden anschliessend i.d.R. visuell dokumentiert. Dabei müssen die Ergebnisse auf Konsistenz anhand der bisher vorliegenden Informationen, Umsetzung in Handlungsanweisungen oder Handlungsempfehlungen, Einbettung des gewonnenen Wissens in Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS = Decision Support System), Führungsinformationssysteme (EIS = Executive Information System), Marketinginformationssysteme (MAIS = Marketing Information System) etc., überprüft werden.

Grundsätzlich lassen sich formale Methoden des Data Mining in fast allen Arbeitsschritten anwenden. Aufgrund der i.d.R. schlechten Strukturierung der meisten Marketingprobleme dominiert der Einsatz von Methoden im Bereich der Datenvorverarbeitung, -bereinigung und -reduktion, vor allem in der Modellkonstruktion und -schätzung.

Bei der konkreten Anwendung der oben beschriebenen Vorgehensweise ist zu beachten, dass das Problem und die verfügbaren Daten bereits weitgehend festlegen, welche Methoden bzw. Methodenklassen grundsätzlich anwendbar sind.

### **2.2.1 Mathematisch, technologische Grundlagen des KDD**

Grundsätzlich muss man bei der Auswahl der geeigneten Verfahren das Skalenniveau der Variablen beachten. Bei dessen Ausprägung kann grundlegend in metrisch und nicht –metrisch unterschieden werden. Man unterscheidet bei nicht-metrischen Skalen zwischen Nominal (z.B. Häufigkeiten) und Ordinal (z.B. Median, Quantile); bei den metrischen in Intervall und Rational. Beispiele dafür sind Mittelwerte, Streuungen, Addition und Subtraktion, Multiplikation und Quotient.

Eine detaillierte Aufstellung der unterschiedlichen Data Mining Verfahren ergibt sich aus der Abbildung 8. Im Folgenden werden die mathematischen Grundlagen exemplarischer DM Methoden näher erläutert. Grundlegend unterscheidet man zwischen der univariaten und multivariaten Statistik. Wird bei der univariaten

Statistik eine variable analysiert, beschäftigt sich die multivariate Statistik mit der Analyse von mehreren Variablen. Nachstehend werden Verfahren der multivariaten Statistik beschrieben.

### **Regressionsanalyse**

Bei der Regressionsanalyse wird der Zusammenhang zwischen einer abhängigen und mehreren unabhängigen Variablen untersucht, wobei alle Variablen auf einem metrischen Skalenniveau liegen müssen. Folgende Modellformen der Regression sind zu unterscheiden, basierend auf der Aufgabenstellen bzgl. des funktionalen Zusammenhangs der Variablen.

Lineare Modelle:  $Y = b_0 + b_1x$

Potenzmodelle:  $Y = b_0 + b_1x^2$

e-log Modelle:  $Y = \ln(b_0 + b_1x)$

inverse Modelle:  $Y = \frac{1}{(b_0 + b_1x + b_2x^2)}$

Exponentialmodelle:  $Y = b_0 + e^{\frac{b_1}{b_2+x}}$

Logistische Modelle:  $Y = \frac{e^{b_0+b_1x}}{1 + e^{b_0+b_1x}}$

Die Regressionsanalyse erfolgt nach der geeigneten Auswahl des Modells in drei Schritten:

1. Formulierung des Modells
2. Schätzung des Regressionskoeffizienten
3. Prüfung der Regressionsfunktion

Nach der Formulierung des Modells (Schritt 1), werden die im Modell vorhandenen Parameter  $b_0, b_1, b_2, \dots$  durch geeignete Verfahren wie kleinstes Fehlerquadrat,

kleinster absoluter Fehler etc. geschätzt (Schritt 2). Im dritten Schritt wird die Güte der Regressionsfunktion ermittelt, um eine Aussage darüber zu treffen, wie gut die Regressionsfunktion die wahren Werte der Stichprobe approximieren kann, d.h. inwieweit sie die Gesetzmäßigkeiten der Grundgesamtheit widerspiegelt. Ausführliche Literatur hierzu vgl [PAP90], [BRO00], [WIT01].

### Varianzanalyse

Die Varianzanalyse ist ein Verfahren, um den Zusammenhang zwischen ein oder mehreren Eingangsgrößen und einer Zielgröße zu untersuchen. Im Unterschied zur Regressionsanalyse sind die unabhängigen Variablen aber nur auf nominalem Skalenniveau. Die abhängige Variable ist metrisch. Genau wie bei der Regressionsanalyse geht man davon aus, dass die Gesamtabweichung  $SS$  (Summe der quadrierten Abweichungen) in einen Anteil der erklärten Abweichung  $SS_b$  und einen Anteil der nicht erklärten Abweichung  $SS_w$  aufgeteilt werden kann.

$$SS = SS_b + SS_w$$

$$\sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K (y_{gk} - \bar{y})^2 = \sum_{g=1}^G K (\bar{y}_g - \bar{y})^2 + \sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K (y_{gk} - \bar{y}_g)^2$$

$G$  ist dabei die Anzahl der Ausprägungen für die nominale Eingangsvariable und  $K$  sei die Anzahl der Beobachtungen innerhalb einer Faktorstufe.  $y_{gk}$  sei der beobachtete (wahre) Wert der Faktorstufe  $g$  und der Beobachtung  $k$ . Das Prinzip der Varianzanalyse besteht darin, die Varianzen innerhalb einer Faktorstufe und zwischen den Faktorstufen zu vergleichen [EST00], [FRE98]. Weitere Ausführungen hierzu vgl. [PAP90], [BRO00], [BAN04]

### Diskriminanzanalyse

Die Diskriminanzanalyse ist ein multivariates Verfahren zur Analyse von Klassenzugehörigkeiten, sie gehört – wie die Regressionsanalyse – zu den strukturprüfenden Verfahren. Anders als bei der Regressionsanalyse ist die Zielgröße beim Diskriminanzverfahren aber nominal. Sie drückt aus, ob eine Merkmalskombination  $x_1, x_2, \dots$  zu einer Klasse gehört oder nicht. Formal bedeutet

dies, dass die Diskriminanzanalyse die Abhängigkeit einer nominalen Zielgröße von metrisch skalierten Eingangsgrößen untersucht. Es wird also untersucht, ob es eine Diskriminanzfunktion  $Y$  gibt, die eine optimale Trennung zwischen Klassen (bzw. Gruppen) erreicht. Eine solche Diskriminanzfunktion hat dabei folgende allgemeine Form:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_i X_i$$

$Y$  sei dabei die Diskriminanzvariable,  $X_i$  die Stichprobe der Merkmalsvariable  $i$  und  $b_i$  der Koeffizient für Merkmalsvariable  $i$ . Man beachte, dass die sich ergebende Diskriminanzvariable  $Y$  metrisch ist, da sie aus der Linearkombination von metrischen Eingangsgrößen berechnet wird. Um damit eine Klassifikation durchzuführen, muss der Wert  $Y$  mit den jeweiligen „Mittelpunkten“ der Klasse verglichen werden. Die Mittelpunkte der Klasse werden im allgemeinen durch ihre Schwerpunkte ausgedrückt. Dieser berechnet sich wie folgt:

$$\bar{Y}_g = \frac{1}{I_g} \sum_{i=1}^{I_g} Y_{gi}$$

$I_g$  sei die Anzahl der Mitglieder der Klasse  $g$ . Die Unterschiedlichkeit zweier Klassen A und B lässt sich nun aus der Differenz dieser Schwerpunkte bestimmen. Geht man weiter davon aus, dass beide Klassen annähernd gleiche Standardabweichungen  $s$  haben, so ist ihr Diskriminanzmaß  $d$ :

$$d = \frac{|Y_1 - Y_2|}{s}$$

Damit kann, basierend auf der allgemeinen Form einer Diskriminanzgleichung eine Zuordnung der metrischen Eingangsgrößen  $X_i$  zu einer Klasse  $g$  durchgeführt werden, wenn die Koeffizienten  $b_0, b_1, b_2, \dots$  bestimmt sind.

Diese Bestimmung wird durch eine Schätzung der Diskriminanzfunktion realisiert mit dem Ziel, das Diskriminanzmaß  $d$  zu maximieren. Gesucht sind damit jene Koeffizienten  $b_0, b_1, b_2, \dots$ , die eine maximale Diskriminanz der Klassen bewirken.

Für den allgemeinen Fall einer beliebigen Anzahl von Gruppen und ungleicher Streuungen wird folgendes Diskriminanzmaß verwendet:

$$\Gamma = \frac{\text{Streuung zwischen den Gruppen}}{\text{Streuung in den Gruppen}}$$

Die Streuung zwischen den Gruppen  $g$  wird dabei durch die quadrierte Abweichung der Gruppenschwerpunkte  $Y_g$  vom Schwerpunkt aller Daten bestimmt, die Streuung in den Gruppen wird durch die quadrierte Abweichungen um den Gruppenschwerpunkt  $Y_g$  ermittelt, d.h. formal ausgedrückt:

$$\Gamma = \frac{\sum_{g=1}^G I_g (Y_g - Y)^2}{\sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{I_g} (Y_{gi} - Y_g)^2}$$

Die Koeffizienten  $b_i$  sind so zu bestimmen, dass das allgemeine Diskriminanzmaß  $\Gamma$  maximal wird. Die optimale Gerade  $Y$  im Merkmalsraum  $X$  ist damit diejenige Gerade, bei der die Projektion der Daten zu maximalen Abweichungen zwischen den Gruppen und minimalen Abweichungen innerhalb der Gruppe führt. Die Güte der Diskriminanzfunktion wird durch den normierten Quotienten

$$\text{Güte} = \frac{\gamma}{1 + \gamma}$$

bestimmt.  $\gamma$  ist der Quotient aus erklärter Streuung und nicht erklärter Streuung.

Die Diskriminanzfunktion ist ein häufig eingesetztes, multivariates Verfahren zur Klassifizierung von Prozesszuständen, oder anderen Mustern, die durch numerische Größen beschrieben werden können. Weiterführende Literatur, vgl. [BAN04], [OTT04].

### **Korrelationsanalyse**

Korrelations-Analyse ist eine häufig angewandte Methode zur Beschreibung von Abhängigkeiten zwischen zwei oder mehreren Merkmalsausprägungen und ist das bekannteste Verfahren zur Entdeckung von Zusammenhängen. Mit Hilfe nachstehender Formel wird der Korrelationskoeffizient berechnet:



$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Der resultierende Index mit dem Wertebereich -1 bis +1 gibt Aufschluss zur Stärke der Abhängigkeit. Dabei bedeutet

$r(x,y) = -1$	reziproker Zusammenhang der Variablen
$-1 < r(x,y) < 0$	stochastischer Zusammenhang
$r(x,y) = 0$	kein Zusammenhang
$0 < r(x,y) < 1$	stochastischer Zusammenhang
$r(x,y) = 1$	proportionale Abhängigkeit zwischen den Variablen

Im Wertebereich -1 bis +1:

0,0 – 0,2	kein oder schwacher Zusammenhang
0,2 – 0,4	schwacher Zusammenhang
0,4 – 0,6	moderater Zusammenhang
0,6 – 0,8	starker Zusammenhang
0,8 – 1,0	sehr starker Zusammenhang

Die Koeffizienten differenzieren zwischen gleichgerichteten oder gegengesetzten Abhängigkeiten. Beim Indexwert 0 geht man davon aus, dass zwischen den Variablen kein Zusammenhang besteht; möglicherweise eine Fehlinterpretation, da der Index 0 auch über Abhängigkeiten der Form  $y = (x - a)^2 + b$  zustande kommen kann [BAN04], [CAL03], [IAN01].

Der Korrelationskoeffizient hat beim KDD Prozess eine große Bedeutung. Er wird i.d.R. im Vorverarbeitungsprozess des Data Minings eingesetzt. Allerdings muss die Interpretation der Koeffizienten aus o.g. Gründen sorgfältig durchdacht werden.

## Clusteranalyse

Bei der Clusteranalyse handelt es sich um ein Struktur- entdeckendes Verfahren. Der Grundgedanke der Clusteranalyse besteht in der Suche nach Datengruppen, deren Elemente möglichst ähnlich sind und die Mitglieder von verschiedenen Gruppen möglichst unähnlich. Dabei läuft eine Clusteranalyse immer in zwei Stufen ab:

1. Auswahl des Proximitätsmaßes (Ähnlichkeitsmaß)
2. Durchführung der Gruppenbildung

Die Auswahl des Proximitätsmaßes richtet sich in erster Linie nach dem Skalenniveau der Daten. Für Nominale Skalenniveaus steht primär der Tanimoto Koeffizient zur Verfügung.

Bei nominalen Daten besteht das Problem, dass man nur die Rechenoperationen durch Aufzählen durchführen lassen kann. Ein Ähnlichkeitsmaß kann somit nur durch Zählen von gemeinsamen Eigenschaften und dem Verhältnis zu nicht gemeinsamen Eigenschaften errechnet werden. Für binäre Merkmale berechnet sich die Ähnlichkeit nach Tanimoto wie folgt:

$$\alpha_{m,n} = \frac{a_{m,n}}{a_{m,n} + a_m + a_n}$$

Dabei ist  $\alpha_{m,n}$  der Ähnlichkeitswert der beiden Objekte m und n (im Wertebereich zwischen 0 und 1) definiert.  $a_{m,n}$  sei die Anzahl der gemeinsamen Eigenschaften beider Objekte.  $a_m$  ist die Anzahl der Eigenschaften, die nur in Objekt m vorhanden sind und  $a_n$  ist die Anzahl der Eigenschaften, die nur bei Objekt n liegen.

Bei mehrkategorialen Merkmalen sind die einzelnen Merkmalsausprägungen in binäre Hilfsvariablen zu zerlegen. Bei vorhandener Eigenschaft bekommt diese Hilfsvariable den Wert 1, ansonsten 0 zugewiesen.

Weitere Koeffizienten für nominale Skalenniveaus sind der RR-Koeffizient sowie der M-Koeffizient.

Bei metrischen Skalen unterscheidet man ebenfalls verschiedene Ähnlichkeitsmaße. Hierbei sind die beiden gebräuchlichsten Koeffizienten der Q-Korrelationskoeffizient, sowie die Minkowski Metrik in  $L_1$  Norm (Manhattan-Distanz) und Minkowski Metrix in  $L_2$  Norm (euklidische Distanz).

Der Q- Korrelationskoeffizient berechnet sich nach:

$$r_{m,n} = \frac{\sum_{i=1}^I (x_{i,m} - \bar{x}_m)(x_{i,n} - \bar{x}_n)}{\sqrt{\sum_{i=1}^I (x_{i,m} - \bar{x}_m)^2 \sum_{i=1}^I (x_{i,n} - \bar{x}_n)^2}}$$

(vgl. Korrelationsanalyse)

Mit  $x_{i,m}$  sei der Wert des Merkmals  $i$  für Objekt  $m$  (bzw.  $n$ ) und mit  $\bar{x}_m$  der Durchschnittswert aller Merkmalseigenschaften des Objektes  $m$  (bzw.  $n$ ) bezeichnet. Vgl. hierzu [FRE98, BAN04].

Die Minkowski Metrik, als eine der wichtigsten und bekanntesten Metriken ist in der folgenden Formel dargestellt:

$$d_{m,n} = \left[ \sum_{i=1}^I |x_{m,i} - x_{n,i}|^r \right]^{\frac{1}{r}}$$

Mit  $d_{m,n}$  sei die Distanz der Datensätze (Objekte)  $m$  und  $n$ , mit  $x_{m,i}$  sei der Wert des Merkmals  $i$  für Objekt  $m$  (bzw.  $n$ ) bezeichnet und  $r$  ist die Minkowski-Konstante, wobei gilt  $r \geq 1$ . Für  $r=1$  geht die Gleichung in die Manhattan-Metrik über, für  $r=2$  in die euklidische Metrik ( $L_2$  Norm). Die euklidische Metrik lautet dann wie folgt:

$$d_{m,n} = \left[ \sum_{i=1}^I |x_{m,i} - x_{n,i}|^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \|x_m - x_n\|$$

Im Unterschied zur  $L_1$  Norm berücksichtigt die  $L_2$  Norm – wegen der Quadrierung – die großen Differenzwerte besonders stark. Bei der Durchführung der Gruppenbildung handelt es sich um die eigentliche Form des Clusters. Hierbei unterscheidet man hierarchische und partitionierende Verfahren. Bei der hierarchischen Clusteranalyse liegt die Idee des Stammbaumes zu Grunde, bei dem Objekte aufgrund ihrer Merkmalsausprägungen klassifiziert werden. Je höher das Zusammenfassungsniveau von Gruppen in einem solchen Stammbaum ist, desto unähnlicher sind sich die Gruppen zueinander.

Partitionierende Verfahren beginnen bei einer gegebenen Gruppierung und tauschen die einzelnen Objekte so lange aus, bis eine vorgegebene Zielfunktion ihr Optimum erreicht hat. Zu den einzelnen Verfahren vgl. [EST00], [FRE98].

## Neuronale Netze

Die bisher dargestellten Verfahren sind lineare Verfahren zur Datenanalyse. Bei Neuronalen Netzwerken handelt es sich hingegen um nicht-lineare Verfahren zur Datenanalyse.

Dabei wird der Ansatz verfolgt, so viele Variablen wie möglich in die Analyse mit einzubeziehen, um die Unschärfe der bisher dargestellten Verfahren zu verbessern. Neuronale Netze sind den Informationsverarbeitungseinheiten und Speichermechanismen im biologischen Gehirn nachgebildet. Eine Vielzahl einfacher Prozessorelemente, so genannte Neuronen, sind mit einer großen Anzahl von Nachbarneuronen über Synapsen (Verbindungsgewichte) verbunden, sammeln Informationen und berechnen eigene Ergebnisse durch relativ einfache Rechenoperationen. Die Leistungsfähigkeit dieses Ansatzes besteht dabei nicht in den komplexen Berechnungsmöglichkeiten der einzelnen Neuronen, vielmehr wird die Leistungsfähigkeit durch die parallele Datenverarbeitung von mehreren Einzelelementen definiert. Folgende Abbildung 9 zeigt dabei vereinfacht den Aufbau eines künstlichen Neurons:

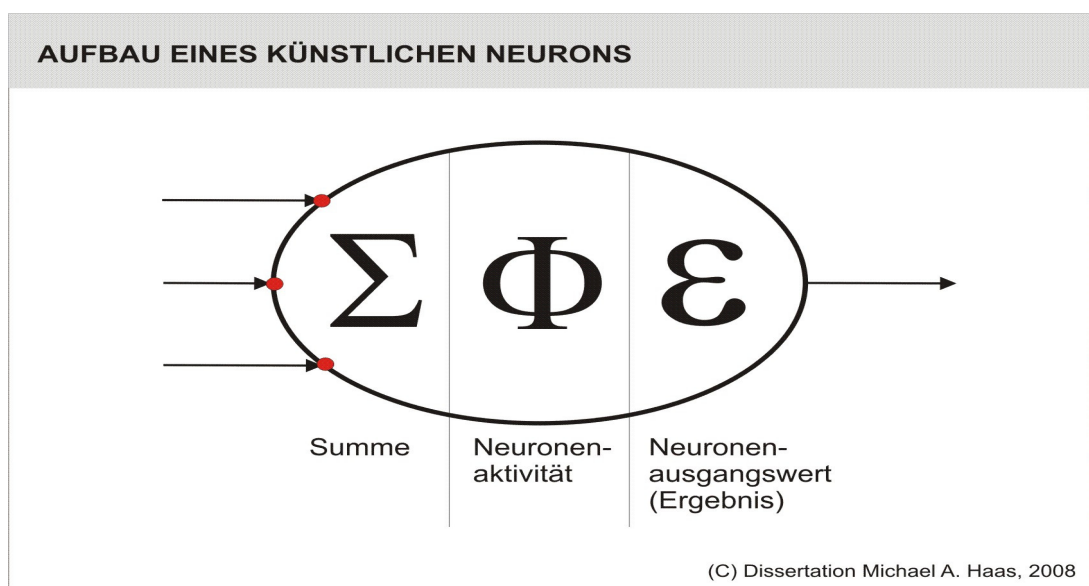


Abb. 9: Aufbau eines künstlichen Neurons

Ein künstliches Neuron entsteht durch die Abstraktion des biologischen Vorbildes. Neuronen sind in Netzwerken organisiert. Jedes Neuron kann mit mehreren anderen Neuronen verbunden werden. Schematisch durchläuft jeder angelegte Eingangsvektor  $x$  eine Propagierungsfunktion  $f_{net}$  und eine Aktivierungsfunktion

$$f_{activity} \cdot$$

Durch diese beiden Funktionen wird aus dem Eingangsvektor  $x$  der Aktivierungszustand des Neurons bestimmt. Ausgehend vom Aktivierungszustand wird über eine Ausgabefunktion  $f_{out}$  der Ausgabewert  $y$  des Neurons berechnet. Mathematisch lässt sich ein solches Neuron wie folgt beschreiben:

$$y = f(x) = f_{out}(f_{activity}(f_{net}(x)))$$

$$y = f_{out}(f_{activity}(\sum_{i=1}^I (w_i x_i - \Phi)))$$

Die Übertragungsfunktion  $f(x)$  eines Neurons ist damit eine „dreifach geschachtelte“ Funktion. Die daraus resultierende Leistungsfähigkeit kann exemplarisch anhand eines binären Neurons mit zwei Eingängen  $x_1$  und  $x_2$ , zwei Gewichten  $w_1$  und  $w_2$  und dem Schwellenwert  $\Phi$  gezeigt werden:

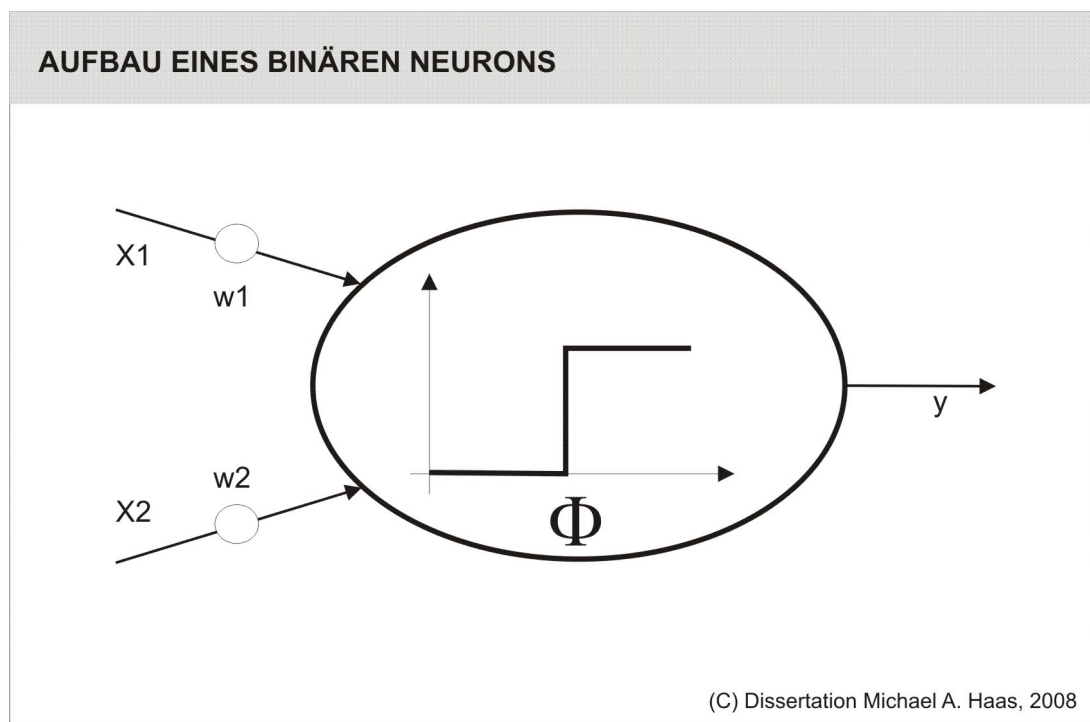


Abb. 10: Aufbau eines binären Neurons

Für die Ausgabefunktion  $f_{out}$  wird die Identitätsfunktion  $y \equiv x$  gesetzt und die Aktivierungsfunktion  $f_{activity}$  soll eine einfache Schwellenwertfunktion mit dem Schwellenwert  $\Phi$  sein.

Dadurch ergibt sich folgende, vereinfachte Übertragungsfunktion:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{wenn } \sum_{i=1}^I w_i x_i \geq \Phi \\ 0 & \end{cases}$$

Anhand dieser Gleichung lässt sich zeigen, dass das einzelne Neuron zur Separierung linear trennbarer Klassen eingesetzt werden kann. Für  $y=1$  ergibt sich die Ungleichung  $w_1 x_1 + w_2 x_2 - \Phi \geq 0$ ; durch Umstellung erhält man:

$$x_1 \geq -\frac{w_2}{w_1} x_2 + \frac{\Phi}{w_1}.$$

Für alle Punkte  $[x_1, x_2]$  unterhalb dieser Geradengleichung ist  $y = 0$ , für alle anderen Punkte ist  $y = 1$ . Das Neuron kann somit zwei Klassen linear separieren. Ein solches Neuron, auch Perceptron genannt entspricht der Realisierung eines logischen AND Gatters. Dies wird aus folgender Abbildung 11 nebst Tabelle deutlich. Dabei gilt:

$A1, A2 \in \text{class1}, y = 0$

$B1 \in \text{class2}, y = 1$

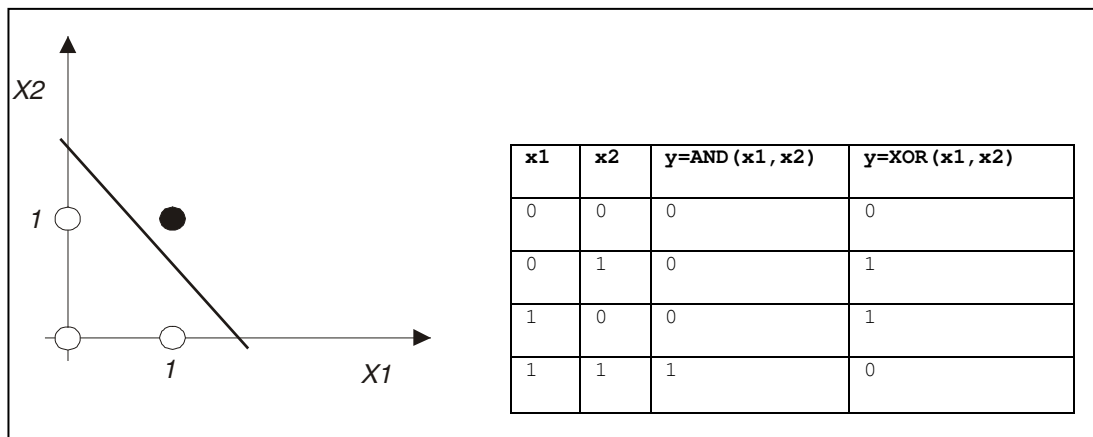


Abb. 11: Beispiel einer einfachen Gatterfunktion

Wie aus Abbildung 11 ersichtlich, wäre eine lineare Separierung auch für die NAND-, OR- und die NOR- Verknüpfung realisierbar. Binäre Neuronen sind somit

logische Gatter. Durch die Verknüpfung einer Vielzahl solcher logischen Gatter ist die Leistungsfähigkeit eines Neuronalen Netzwerkes vorstellbar.

Eine XOR Verknüpfung ist jedoch nicht darstellbar, da sich keine Gerade zeichnen lässt, für die die XOR Aussage wahr wäre bzw. die XOR Klassen  $\{0,1\}$  trennt. Durch Verknüpfung zweier Neuronen lässt sich dieses Problem jedoch lösen. Vergleiche hierzu folgende Abbildung 12.

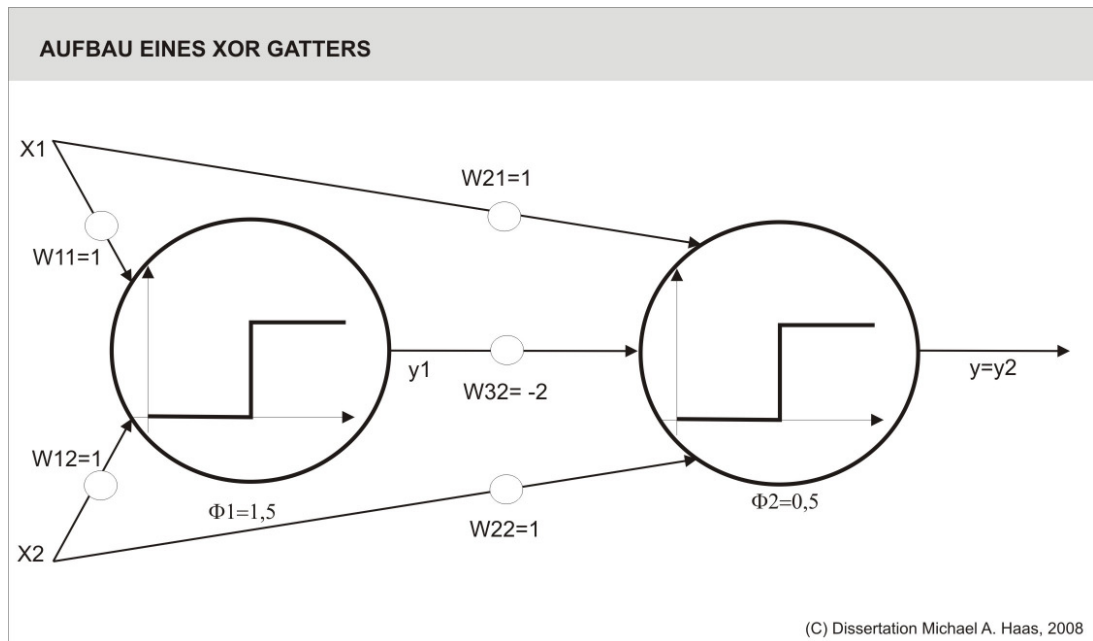


Abb. 12: Verknüpfung zweier Neuronen um ein XOR Gatter zu realisieren

Legt man an die Eingänge des Netzes nacheinander die Wertepaare  $[0,0]$ ,  $[0,1]$ ,  $[1,0]$  und  $[1,1]$  an, dann ergeben sich folgende Rechenwerte im Neuronalen Netzwerk.

X1	X2	Aktivierungsfunktion Neuron1; $f_{activity1}$	$\Phi_1$	Y1	Aktivierungsfunktion Neuron2; $f_{activity2}$	$\Phi_2$	Y
		x1 x2			x1 x2 y1		
0	0	$0*1+0*1=0$ 0<	1,5	0	$0*1+0*1+0*(-2)=0$ 0<	0,5	<b>0</b>
0	1	$0*1+1*1=1$ 1<	1,5	0	$0*1+1*1+0*(-2)=1$ 1>	0,5	<b>1</b>
1	0	$1*1+0*1=1$ 1<	1,5	0	$1*1+0*1+0*(-2)=1$ 1>	0,5	<b>1</b>
1	1	$1*1+1*1=2$ 2>	1,5	1	$1*1+1*1+1*(-2)=0$ 0<	0,5	<b>0</b>

Abb. 13: Beispielstruktur I/O eines neuronalen Netzwerkes

Aus dieser Auflösung des Gatters aus Abbildung 12 wird ersichtlich, dass dieses Neuronale Netzwerk eine XOR Verknüpfung realisiert hat.

Beim Aufbau eines KNN wird zwischen Eingabe- und Ausgabeschichten unterschieden. Ein neuronales Netz besteht primär aus Elementareinheiten und deren Verbindungen sowie den Gewichten der Verbindungen und Funktionen, die die Zustandsänderungen von Elementareinheiten und Gewichten beschreiben. Die Veränderung der Gewichte zwischen den Verbindungen wird durch netzspezifische Lernregeln erreicht.

Die Kombination von Elementen, Strukturen und Lernregeln bestimmt letztlich die Netzwerktopologie und damit die Einsatzbereiche Künstlicher Neuronaler Netze. KNN eignen sich besonders für Anwendungen, in denen nicht-lineare Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den Parametern bestehen, deren Beziehungsgeflecht mit Korrelations- und Regressionsanalysen nur schwerlich dargestellt werden kann. Dies ist für Fertigungsprozesse zutreffend, in denen mehrere Einflussfaktoren parallel und interaktiv agieren. KNN sind in der Lage, sowohl lineare als auch nichtlineare Prozesse zu modellieren. Ein neuronales Netz generiert selbständig einen nicht-linearen Funktionsausdruck zur Beschreibung eines Prozesses. Weiterhin können simultan mehrere Einflussgrößen und deren Wechselwirkungen in das Netzwerk einbezogen werden, unabhängig davon auf welchem Skalenniveau diese erfasst wurden. [CAL04]. Zu den theoretischen Grundlagen Künstlicher Neuronaler Netze wird auf die Standardliteratur verwiesen. [ROJ96], [WIT01], [FRE98]

### **Entscheidungsbäume**

Entscheidungsbäume sind ein Element aus der Entscheidungstheorie, die z.B. häufig in FMEA- Projekten als Tool für Diagnosen zum Fehlverhalten komplexer Anlagen und Prozesse eingesetzt werden. Das Verfahren gliedert sich in mehrere Phasen. Zum Ablauf vgl. [LIN02].

- Darstellung und Analyse der Systemstruktur anhand eines Ereignisbaumes
- Festlegung nicht erwünschter Ereignisse am EB, Klassifizierung nach primärem kommandiertem, sekundärem Ereignis.
- Am Ereignisbaum sind wechselseitige Ereignis-Abhängigkeiten auf allen Ebenen (mit Symbolen der Bool'sche Algebra) zu definieren.



Mathematische Grundlage der Entscheidungsbäume bildet dabei die Wahrscheinlichkeitstheorie mit ihrem Fundamentalsatz, dass die Summe aller Möglichkeiten (Wahrscheinlichkeiten) immer eins ergeben muss.

$$\sum_{i=1}^I P_i = 1$$

Entscheidungsbäume werden nach dem Top-Down Ansatz entwickelt. Ausgehend von einem Zielmerkmal Y wird in jedem Knoten des Baumes eine Entscheidung darüber getroffen, welches Merkmal X(i) aus den vorangegangenen Eingangsgrößen den maximalen Informationsgewinn zur Erklärung der Zielvariablen beiträgt. Das heißt, in jedem Entscheidungsschritt wird dasjenige Attribut gesucht, welches für sich alleine betrachtet die Ausprägung der Zielvariable am besten erklärt. Dieses Attribut wird dann zur Aufteilung der Daten in so genannte Pfade verwendet. In jedem Pfad wird für jeden Knoten dasjenige Attribut gesucht, welches für die verbleibenden Daten die Zielgröße am besten erklärt. Abbildung 14 verdeutlicht einen solchen Schritt, wobei die dazugehörige Wahrscheinlichkeitsfolge durch Analyse des Datensatzes ermittelt wurde:

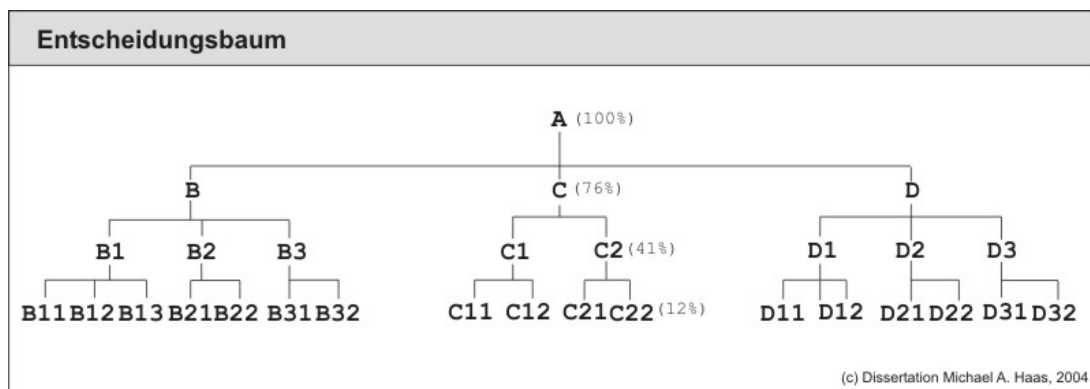


Abb. 14: Beispiel einer Entscheidungsbaum - Hierarchie

$$P(A) = 1;$$

$$P(B) = 0,12; \quad P(C) = 0,76; \quad P(D) = 0,12$$

$$P(B1) = 0,01; \quad P(B2) = 0,02; \quad P(B3) = 0,02; \quad P(C1) = 0,23; \quad P(C2) = 0,41; \quad P(D1) = 0,11;$$

$$P(D2) = 0,12; \quad P(D3) = 0,08$$

$$P(B11) = 0,06; \quad P(B12) = 0,04; \quad P(B13) = 0,05; \quad P(B21) = 0,05;$$

$$P(B22) = 0,02; \quad P(B31) = 0,01; \quad P(B32) = 0,03; \quad P(C11) = 0,09;$$

$$P(C12) = 0,09; \quad P(C21) = 0,11; \quad P(C22) = 0,12; \quad P(D11) = 0,10;$$

$$P(D12)=0,05; \quad P(D21)=0,09; \quad P(D22)=0,01; \quad P(D31)=0,03; \\ P(D32)=0,05$$

Die Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten je Zeile ist immer gleich 1, analog  $\sum_{i=1}^I P_i = 1$ . Der Hauptpfad für die Ergebnisbeeinflussung wäre somit C22(12%) auf C2(41%) auf C(76%) auf A(100%). Eine generierte Regel wäre  $C21+C22=C2$ ;  $C2+C1=C$ ;  $C+B+D=A$ .

**Qualitative** Analysen untersuchen die Struktur des Entscheidungsbaumes. Das zu untersuchende (TOP) Ereignis A ist die Spitze des Baumes. Mit Rückverfolgung über vertikale Strukturpfade wird der Auslöser des Top-Ereignisses und der Wirkungszusammenhang ermittelt. Aus Verknüpfungen über n-vertikale Ebenen (Schichten) wird die Bedeutung einzelner Ereignisse ersichtlich. Die Methode minimaler Schnitte ermöglicht direktes Erkennen einzelner Ereignisse. Minimal heißt der kürzeste Weg durch die Ereignisstruktur, der zum unerwünschten Ereignis zurückführt.

**Quantitative** Analysen berechnen Eintrittswahrscheinlichkeiten und Häufigkeiten des Auftretens einzelner Ereignisse im Prozess. Die Multiplikation einzelner Ereigniswahrscheinlichkeiten ergibt eine Kennzahl zur Zuverlässigkeit bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit des Gesamtsystems.

Entscheidungsbäume nehmen im Data-Mining Methodenbündel eine bedeutende Stellung ein. Die Prozeduren mit den unterlegten mathematischen Algorithmen ermöglichen, induktiv Regeln zum Prozessverhalten abzuleiten.

### **Assoziationsregeln**

Assoziationsregeln sind eine weitere Methode zur Entdeckung von Zusammenhängen. Bedeutsamer Unterschied zwischen Assoziationsregeln- und Entscheidungsbäumen ist, dass mit Assoziation (WENN -> DANN) keine disjunkte Datenzerlegung durchgeführt wird. Dadurch können mehr Zusammenhänge erfasst werden. Allerdings besteht die Gefahr, dass auch mehr irrelevante (nonsense) Zusammenhänge konstruiert werden.

Die Aussagen – basierend auf Assoziationsregeln sind unschärfer als die des Entscheidungsbaumes, da der Entscheidungsbaum Top-Down sich auf die realen Wahrscheinlichkeiten innerhab des Datenbestandes bezieht, hingegen das

Verfahren der Assoziationsregeln durch die Determinanten Abdeckung, (Coverage), Vertrauen, (Confidence), und Hebelwirkung (Lift) charakterisiert.

Mit Konfidenz wird die prozentuale Häufigkeit beschrieben, mit der bei Ereignis A auch das Ereignis B eingetroffen ist. Die Determinante Lift beschreibt die Hebelwirkung der Ereignisse. (Beispiel: Lift 10 bedeutet: WENN (Werkzeugbruch) DANN (langer Span), dass bei einem „Werkzeugbruch“ 10 mal häufiger auch das Attribut „langer Span“ auftritt als andere Gründe.)

Der Algorithmus zum Auffinden von Assoziationsregeln kann beispielhaft mit den nachfolgenden Schritten beschrieben werden:

1. Suche alle Attributskombinationen ([x1,x2], [x1,x3], [xi,xj]) mit einem definierten coverage Wert von > 30%
2. Verwende die gefunden Attributskombinationen und bestimme diejenigen Regeln, deren Konfidenz > 80% ist.
3. Berechne den Lift und stelle die Ergebnisse grafisch dar.

X1	X2	X3	X4
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0
0	1	0	1
0	0	1	1
0	0	0	1
0	0	1	1
0	0	0	1

Abb. 15: Beispieltabelle Assoziationsregeln

Gesucht sind: alle Assoziationen für Attributpaare [x1,x4], [x2,x4] und [x3,x4]. Der coverage Wert wird mit 30% definiert, der confidence Wert mit 80%. Das Ergebnis des Algorithmus sieht wie folgt aus:

- (1)  $X_4 = 1 \leq x_2 = 0$  (5:50.0%, 0.8)
- (2)  $X_4 = 0 \leq x_2 = 1$  (5:50.0%, 0.8)
- (3)  $X_4 = 1 \leq x_1 = 0$  (5:50.0%, 1.0)
- (4)  $X_4 = 0 \leq x_1 = 1$  (5:50.0%, 1.0)
- (5)  $X_4 = 1 \leq x_1 = 0 \ \& \ x_2 = 0$  (4:40.0%, 1.0)
- (6)  $X_4 = 0 \leq x_1 = 1 \ \& \ x_2 = 1$  (4:40.0%, 1.0)
- (7)  $X_4 = 1 \leq x_1 = 0 \ \& \ x_2 = 0$  (3:30.0%, 1.0)
- (8)  $X_4 = 0 \leq x_1 = 1 \ \& \ x_2 = 1$  (3:30.0%, 1.0)

Ergebnis- Zusammenhänge zwischen  $x_1$  und  $x_4$  wurden entdeckt, da aus (3) folgt:

*WENN  $x_1 = 0$ , DANN  $x_4=1$*

Die Regel hat eine Abdeckung von 50%, denn nur in 5 Datensätzen kommt  $x_1 = 0$  und  $x_4=1$  gemeinsam vor. Die Konfidenz ist allerdings 100%, denn immer dann, wenn beide Ausprägungen gemeinsam vorkommen, stimmt die Implikation

WENN  $x_1=0$  DANN  $x_4=1$ .

Eine weitere Regel, die sich aus diesem Beispiel ableiten lässt, ist:

*WENN  $x_2 = 0$ , DANN  $x_4 = 1$*

Diese Regel ist jedoch nur mit einer Konfidenz von 80% belegt, d.h. bei 5 gemeinsamen Datensätzen (coverage=5) stimmt diese Regel für 4 Datensätze.

Hätte man einen Abdeckungswert von 10% angenommen, wären noch weitere Regeln gefunden worden. Es ist damit jedoch ersichtlich, dass diese Art der Regelgewinnung unschärfer ist als die Entscheidungsbäume.

## 2.2.2 Optimierte KDD Prozess

In der Literatur wird Wissens- und Regelgenerierung in linearen Abfolgen einzelner KDD- Prozessschritte beschrieben (vgl. Abbildung 6). Der KDD-Prozess ist durch automatische Rückführung generierter Regeln über eine Schleife in die KDD- Prozessstufe Datenvorbereitung signifikant zu verbessern. Forschungsberichte hierzu vgl. [WIT91, BAN04, FRE98, EST00]. Das optimierte KDD- Prozessmodell stellt sich sodann folgendermaßen dar.

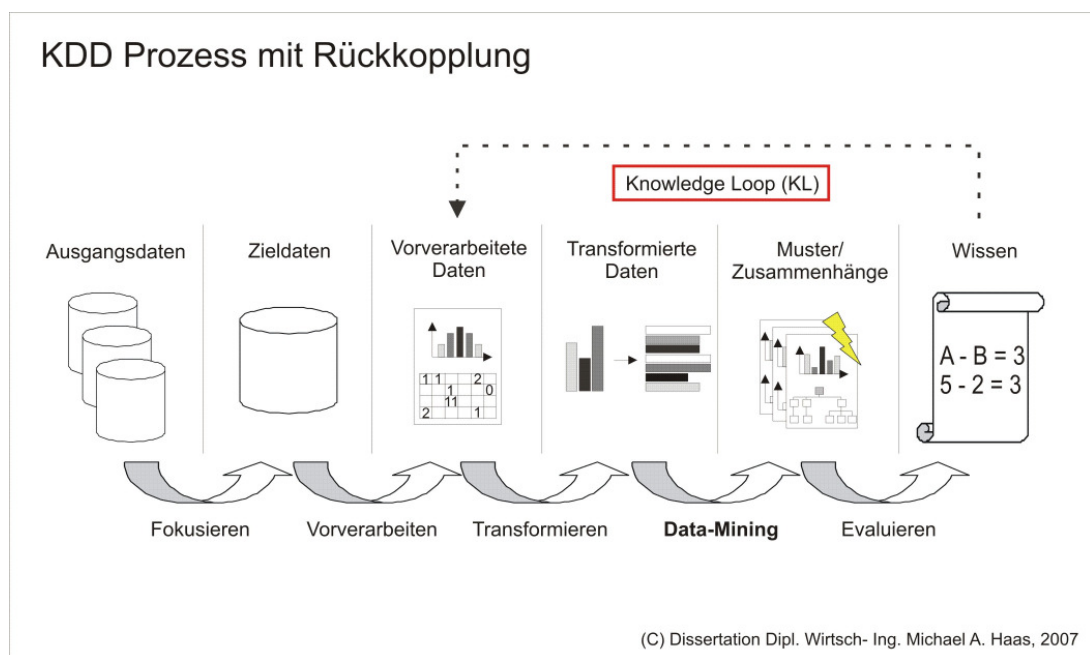


Abb. 16: Durch Rückkopplung optimierter KDD Prozess

Diese Rückkopplung bewirkt entscheidende Vorteile:

Die Schleife (Knowledge Loop) perpetuiert Wissensgenerierung und implementiert einen Automatismus, der neu entdeckte Prozessregeln schnittstellenfrei und unmittelbar dem nachfolgenden Prozess-Optimierungslauf bereitstellt.

Diese hoch effiziente Systematik wird in das im Kap. 7 f beschriebene Lösungsmodell übernommen.

## 2. 3. Fazit

Abbildung 17 stellt ausgewählte QM-Techniken den nach vertikaler Prozessintegration zur Lösung anstehenden Aufgaben gegenüber. Die Lösungskompetenz der Techniken wird mit Symbolen markiert.

Anwendungen und Effizienz-Profil ausgewählter Qualitätstechniken													
ANWENDUNGEN	PRODUKT Planungs-u. Entwicklungsprozesse					(Makro-) Geschäfts-Prozesse					FERTIGUNGS-Prozesse		
	Leitungs-Ebene					Ressourcen-Ebene					Feld-Ebene		
<div><div></div><div>Kern-Aufgaben</div><div></div></div>	Planung und Steuerung betrieblicher Zielsysteme	Umsetzung Kunden-Anforderungen in Produktfunktionen	Funktion- u. Kostenvergleiche mit Wettbewerbsprodukten	Entwicklung und Konstruktion	Produkt-Funktions- und Leistungstests	Risiko-Analysen Techn.-Systeme	Fertigungs-Programm-Planung	Optimierung Material-Logistik-Kette ( Lieferanten )	Materialfluss-Optimierung (intern)	Kunden-Auftrags-Abwicklung (Durchlaufzeit -> Min.)	Ressourcen-Management (Maschinen- u. Betriebsmittel)	FA - Reihenfolge und Zuteilung Masch.-Kapazitäten	Fertigungs- Qualitätssicherung (ex post) Prozess-Steuerung ( Parameter-Justierung )
<div><div></div><div>Qualitäts-Techniken</div><div></div></div>	Prozess-Diagnosen	Prozess-Prognosen	Prozess- Kontrolle	Prozess-Optimierung (Steuerung)	Prozess-Qualitäts-Sicherung	Entdeckung neuer Regeln zum Prozessverhalten							
ERP-Prozess-Planungs-Techniken													
	Planung					Abwicklung und Durchsetzung					Prozesse		
PPS (Materialbedarf)													
CAD ( simultaneous Engineering,...)													
SCM (Material-Logistik)													
AQPP,CAQ Systeme													
CAM,CAP ( NC-Arbeitsplanung)													
Instandhaltungssysteme (TPM)													
MES (Durchsetzungs-Systeme)													
Qualitäts-Management-Methoden													
QFD													
FMEA													
Statist.-Versuchsplanung (SVP)													
Statist.-Prozess-Kontrolle (SPK)													
Balanced Score-Card (BSC)													
Six Sigma													
Wertanalyse (VVA)													
8 D													
QM-Hilfstechniken													
Korrelation													
Regression													
Fehler/Entscheidungsbaum-Analyse													
Varianzanalyse													
Operations-Research													
Simulation													
Innov.QM-Techniken													
Software-Agenten-Systeme													
DM-Zeitreihenanalysen													
DM-Künstliche Neuronale Netze (KNN)													
DM-Clustering													
DM-Entscheidungsbäume													
DM-Assoziation													
DM-Sequenzanalysen													
DM-SOM (Self Organizing Maps)													
DM-SVM (Support Vector Machines)													
	Regelkreis 1: Geschäftsprozesse					Regelkreis 2: Fertigungsprozesse							
Prozess-Optimierung	iterativ					kontinuierlich							
Effizienz-Symbole													
Basis: Anwendungsberichte													
© Diss M Haas, 2007													

Abb. 17: Effizienzprofil ausgewählter QM- Techniken

Die Benotung basiert auf Funktionsanalysen und in Experten-Workshops vermittelten Anwender- Erfahrungen [FRA87], [BOX94], [KER94], [OV03/1], [SUZ89], [SFG06], [HOE06], [LOE06], [CGT], [STO07].

**Zusammenfassende Kommentierung:** Die wissenschaftliche Literatur und Praxis befasst sich schwerpunktmäßig mit iterativen Verbesserungen horizontal integrierter (Makro-)Prozesse auf und zwischen der Leit – und Ressourcenebenen. Für diese Aufgaben stehen bewährte Qualitätstechniken zur Verfügung. Von QM-Experten wird für Verbesserungen bereichsübergreifender, relativ träger Geschäftsprozesse Six Sigma, und Kaizen als kontinuierliche Verbesserung (KV) Methode im Shop Floor Management (Materialfluss- und Werkstattsteuerung) empfohlen. Qualitätssteuerung erfolgt überwiegend an Hand statistischer Kennzahlen.

Die QFD- Systematik hat sich zur Produktplanung und als Ordnungsrahmen im Qualitäts- Engineering bewährt, - zur Prozesssteuerung im PRK2 ist QFD jedoch nicht geeignet. Mit den Methoden Muda, 5 S, Poka Yoke, Andon, etc. sind - speziell in Montageprozessen - die durch personale Unzulänglichkeiten gefährdete Arbeitsqualität verbessert und Verschwendungen jedweder Art zu eliminieren.

Zur Qualitätssteuerung im vertikalen PRK 1 stehen qualifizierte MES Lösungen bereit. Statistische Prozess-Kontrolle (SPK) steuert Fertigungsqualität anhand von Regelkarten per Nachjustierung grenzwertiger Parameter, setzt somit zu einem Zeitpunkt an, zu dem Qualitätskriterien bereits verletzt wurden. Prozesskarten-gesteuerte SPK ist zur Qualitätssicherung üblich, auf Grund der Kennzahlen Basierung zu Fehlerprävention und Steuerung dynamischer Prozesse jedoch systemisch überfordert. Per Simulation oder OR Modellen erzeugte Planwerte sind zur Kennzahlenbildung gebräuchlich, zur Steuerung von Bearbeitungsprozessen jedoch wenig hilfreich. Hierzu sind alle Kennzahlen basierte Systeme entschieden zu träge. Hinzu kommt, dass diese Methoden zur Erzielung *kontinuierlicher* Verbesserungen auch *kontinuierlich* eingesetzt werden müssen. Hier treten die Eingangs erwähnten Organisations-Defizite, Schnittstellen-Probleme und personalen Schwachpunkte zu Tage. Optimierungs-Aufgaben im PRK2 sind mit gebräuchlichen, relativ trägen QM-Methoden nicht qualifiziert, - bestenfalls partiell zu lösen. Alternativen dazu sind oben erklärte innovative KDD-DM Methoden. Deren funktionale Kompetenz steht kongruent zur Struktur und Anforderungsprofil der PRK2-Aufgaben. Damit bieten sich diesen Methoden zur Konfiguration im Lösungsmodell an.

### 3. Untersuchung zum Stand der Technik im Anwendungsbereich

Die Analyse stützt sich auf wissenschaftliche Publikationen und Fachzeitschriften, die über laufende Forschungsprojekte, Produktinnovationen und Praxisberichte den Stand und technischen Fortschritt im Anwendungsbereich vermitteln. Im Fokus stehen Systeme, Methoden und Tools zur Erfassung von Parametern aus den vom PRK2 umfassten Prozessbereichen. Abbildung 18 zeigt das Erfassungsfeld.

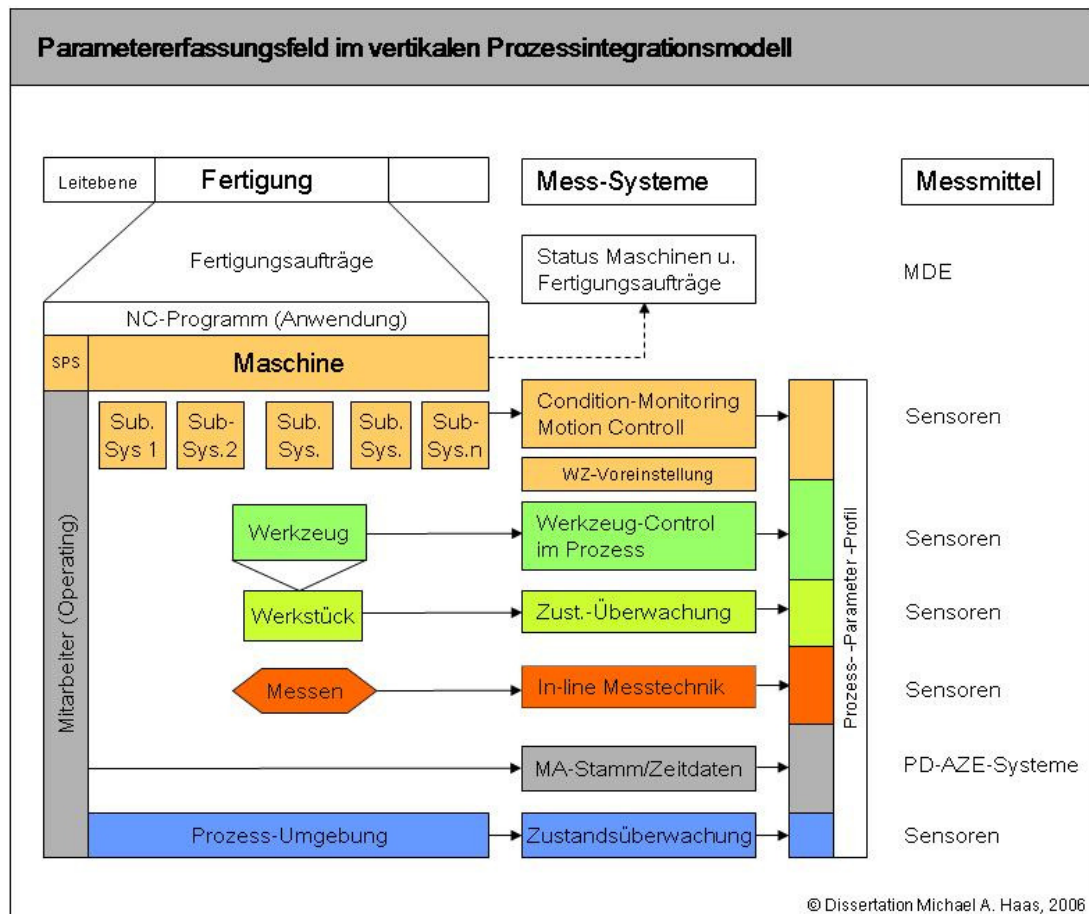


Abb. 18: Parametererfassung im vertikalen Prozessmodell

#### 3.1. Parameter- Erfassungssysteme

Aufgabe der Parametererfassung ist, den Zustand des Fertigungssystems auf der Leit-, Ressourcen- und Prozessebene festzustellen sowie Parameterverlaufprofile detailliert aufzuzeichnen. Damit wird eine objektive Datenbasis für Fehleranalysen und Prozessoptimierungen gelegt.



Qualitätsdatenerfassung auf Leitebene erfolgt üblicherweise mit Betriebs- und Zeit-Datenerfassungssystemen (BDE), die mit IT-Systemen verbunden und von spezieller Erfassungssoftware unterstützt werden [OV07/25]. Erfassungsmedien sind Tastaturen, Barcode-, Magnetkartenleser, etc. mit digitalen Identifikations- und Lesetechniken. Der Erfassungsrhythmus folgt jeweils dem Prozessfortschritt.

Auf Ressourcenebene wird der Status der Maschinen (Betrieb/Stillstand/Wartung) und Fertigungsaufträge mit Maschinen-Daten-Erfassungs-Systemen (MDE) erfasst. Manuell oder online erfasste Parameterdaten sind Elemente im PRK 1 und 2.

In den PRK2 sind außerdem Prozessparameter aufzunehmen, speziell Parameter, die Zustände und das Verhalten der Maschinen, Sub- und Peripheriesysteme (Lager, Führungen, Motoren, Antriebe, Werkzeug-/Werkstück Einspannvorrichtungen, etc.) sowie Werkstückeigenschaften und zur Materiallogistik kennzeichnen. Technisch realisiert wird dies mit fortschrittlichen Condition Monitoring und Motion Control Systemen [STE06], [REI07], [MAY06]. Die Parameterprofile sind zur Rückverfolgung (z.B. Chargennachweis), im Maschinen- und Betriebsmittelmanagement für Belastungs- und Fehlerursachenanalysen von Bedeutung [OV06/1], [OV06/2], [FRE07].

Bei der Fertigungs-Qualitätsplanung werden (z.B. mittels Prozess- FMEA, TRIZ, etc.) kritische Beobachtungspunkte zum Fertigungsablauf, Prozessumgebung, Material- und Werkstücklogistik definiert und mit geeigneten Messindikatoren besetzt. Identifikation, Lage und Zustand des Werkstücks vor der Maschine können mit Lichtschranken, Sensoren oder Kameras überwacht werden.

Maschinenoperating ist selbst bei hohem Automatisierungsgrad ein qualitäts-relevanter Faktor, belegt durch empirische Erfahrungen, wonach Fertigungsprozesse beim Operating durch Mitarbeiter A störungsarm, beim Operator B -unter formal gleichen Bedingungen- sich störanfälliger zeigen [OV06/16].

Werkzeugparameter sind entscheidende Prozessfaktoren [STI06]. Werkzeugbruchkontrolle ist eine essentielle Überwachungsaufgabe, die den Eintritt des „worst case“ meldet.

Werkzeug Management Systeme (TMS) unterstützen die Werkzeuglogistik, Werkzeugeinstellungsgeräte bereiten Werkzeuge für den spezifischen Einsatz vor [STI06], [OV06/13].

Werkzeuggeometrien sind essentiell wichtige Qualitätsfaktoren. Prozessbegleitende Systeme kontrollieren den Zustand wichtiger Werkzeug-Design-Parameter im realen

Bearbeitungsprozess. Fortschrittliche Systeme modifizieren Schnittparameter zur Beschleunigung von Schnittprozessen [OV07/7]. Diese Systeme optimieren Ausschnitte aus dem Prozess-Gesamtfeld.

Prozess-Qualität bestimmend sind Faktoren aus der Prozessumgebung. Hierzu zählen in erster Linie Temperaturen (am Werkzeug, Werkstück) und Kühlmittel (Art, Druck, Synthese).

Mitarbeiter-Stamm-Daten werden von Terminals, variable Prozess-Zeitdaten vom System automatisch übernommen.

Fertigungsstückzahlen und Werkstückmessdaten werden i.d.R. nach dem Bearbeitungsprozess erfasst. In high-tech Fertigungssystemen wird unter speziellen Voraussetzungen Messen während des Prozesses (Measurement in Process) oder in-line Measurement praktiziert [OV07/2], [SCH04], [OV07/1], [OV07/4]. Diesbezügliche Praktiken laufen parallel mit Steuerungssystem Entwicklungen, die darauf ausgelegt sind, fehlerhafter Werkstückbearbeitung vorzubeugen [OV06/12]. Einen integrativen Ansatz bieten softwaregestützte Systeme, die an einem grafischen Leitstand Messsysteme für Gesamtanlagen detailliert bis auf Feldgeräteebene konfigurieren und damit die Prozesse überwachen [OV07/20]. Prozesssteuerung wird simuliert, so dass sich der Einsatz derartiger Systeme auf die Messsystem -projektierung und -schulung beschränkt. Lernfähig sind diese Systeme derzeit nicht.

Bezüglich Messgenauigkeit ist der Nano-Stand der Technik [CHR03], [OV07/10], [OV04/18], [OV03/8]. Dieser Standard ist mit fortschrittlicher Sensor- und Laser-Messtechnik realisierbar, stellt an Bearbeitungswerkzeuge und Prozesssteuerung jedoch hohe Anforderungen [OV03/9], [OV05/1].

### **3.2. Erfassungs- Techniken**

Im PRK2 werden chemische, physikalische, elektrische und akustische Parametergrößen mit Sensoren unterschiedlichster Bauart erfasst [SCA06],[HAS06], [MST07], [OV06/80],[OV06/81]. Die Fortentwicklungen zielen auf Miniaturisierung, eigene

„Intelligenz“ (Chipsensoren) und Systemfähigkeit [ADO05], [MAR05], [MOE04], [POL04], [OV04/10], [JAG04], [MAY06], [OV06/2], [OV06/8].

Im Condition-Monitoring kommen verschiedenartige Endoskope, für Zustandsdiagnosen vereinzelt bereits innovative Softwaretechnologie, zur Anwendung.

Industrielle Bildverarbeitungssysteme (IBV) mit Hochgeschwindigkeits-, CCD-Digital-, Video-, X-Ray(Röntgen)- und Thermokameras- sind Messmittel, die verstärkt zur Prozesskontrolle eingesetzt werden [OV06/8], [OV07/17], [OV06/7], [OV06/12], [OV05/9].

CCD- Digitalkameras rastern Prüflinge hochauflösend mit hoher Geschwindigkeit in einzelne Messpunkte (Pixel). Bei der Auswertung werden die Pixelmuster mit Referenzmuster verglichen [OV07/18].

Thermo-Kameras sind Messmittel zur Temperaturüberwachung am Werkstück und Werkzeug [OV06/14], [STI07/1]. Moderne Kameras benötigen für die Erstellung auswertbarer Temperaturbilder Messzeiten kleiner 1 Sekunde [OV07].

X-Ray-Kameras sind fähig, während des Bearbeitungsvorganges unbekannte Materialfehler (Einschlüsse, Lunker) zu entdecken und solche ggf. als Ursache für Werkzeugbeschädigungen oder Bearbeitungsfehler zu identifizieren; derartige Fähigkeiten sind z.B. zur Herstellungsrückverfolgung von Sicherheitsteilen hilfreich [FRE07].

Mit Video-Kameras kann der Materialfluss, d.h. Werkstück Zu- und Abführung zur Arbeitsstation überwacht werden [OV06/10],[OV05/10].

Radio Frequenz Identifikation (RFID) ist eine Technik, mit der ohne Sichtkontakt erfasste Messdaten kabellos (wireless) an definierte Empfangsstationen übermittelt werden [LAE05], [KIL04]. Datenträger sind speziell präparierte Etiketten, Sensoren oder Smartlabels mit integrierten Chips. Nach Aufruf durch einen Transponder werden Parameterdaten auf definierten Frequenzen (12,36 KHz) an das Anwendungssystem übertragen. RFID- Einsatz Schwerpunkte liegen derzeit in den Bereichen Materialwirtschaft und Logistik (Warenverfolgung) und Handel (Artikelsicherung). Der breite industrielle Einsatz wird partiell von lückenhafter Standardisierung (reservierte Frequenzbänder, Codierung) und relativ hohen Labelkosten behindert [BIS05], [KEL05]. Für die Überwachung von Fertigungsprozessen wird -bei beengten Platzverhältnissen- die wireless-Technik künftig an Bedeutung gewinnen [BOL03], [BIS05], [LAN05].

### 3.3. Datennetze

Bei vertikaler Prozessintegration wird über das PRK2 Prozessfeld ein Messpunkte-Netz gelegt, an deren Knoten digitale oder analoge Parameterdaten überwacht und über ein Datennetz dem QM- System zur Auswertung und Steuerung zugeleitet werden [KOR06],[FRITS],[OV06/18],[OV07/6].

Voraussetzung dafür sind kompatible Schnittstellen und standardisierte Kommunikationsprotokolle.

Die idealtypische Situation wird in Abbildung 19a dargestellt.

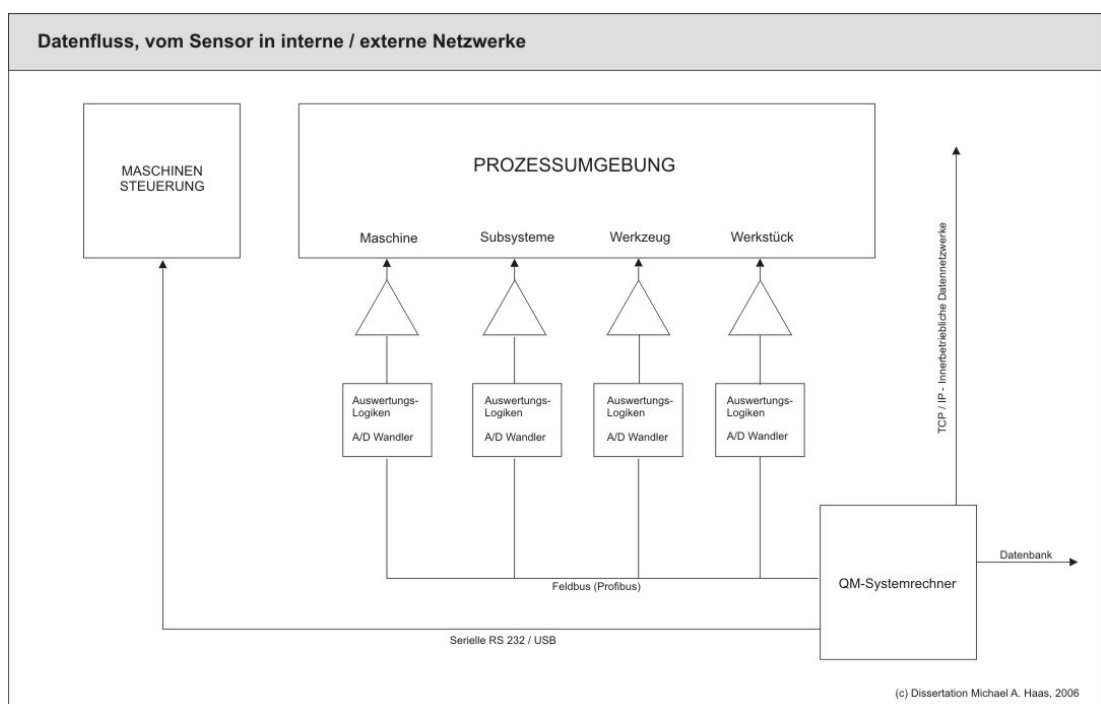


Abb.19a: Datennetz-Schema zur Prozessdatenerfassung

In der Realität bestehen dazu Schwachpunkte. Prozessbereiche auf der ERP-Leitebene sind meist per Intranet vernetzt. Über diesen Strang wird der Internet-Zugang zum weltweiten Daten- und Informationsaustausch sichergestellt. Auf Ressourcenebene werden andere Systeme (z.B. Profibus, Modbus, etc.) verwendet. Der Signal- und Datenaustausch auf Prozessebene wird wiederum mit anderen Übertragungsstandards (z.B. Profibus PA, Foundation Fieldbus, etc.) realisiert. Für den Datentransfer zwischen den Ebenen sind im status quo drei verschiedene Physical Layer und Austauschprotokolle nötig. Derartige Datennetze funktionieren im Normalfall zuverlässig, über Busprotokollkonverter jedoch oftmals unzureichend.

Feldbusse übertragen die Datensignale vergleichsweise langsam, sind in der Echtzeitfähigkeit begrenzt und genügen damit nicht den Anforderungen fortschrittlicher Applikationen. Abbildung 19b verdeutlicht die Problemlage.

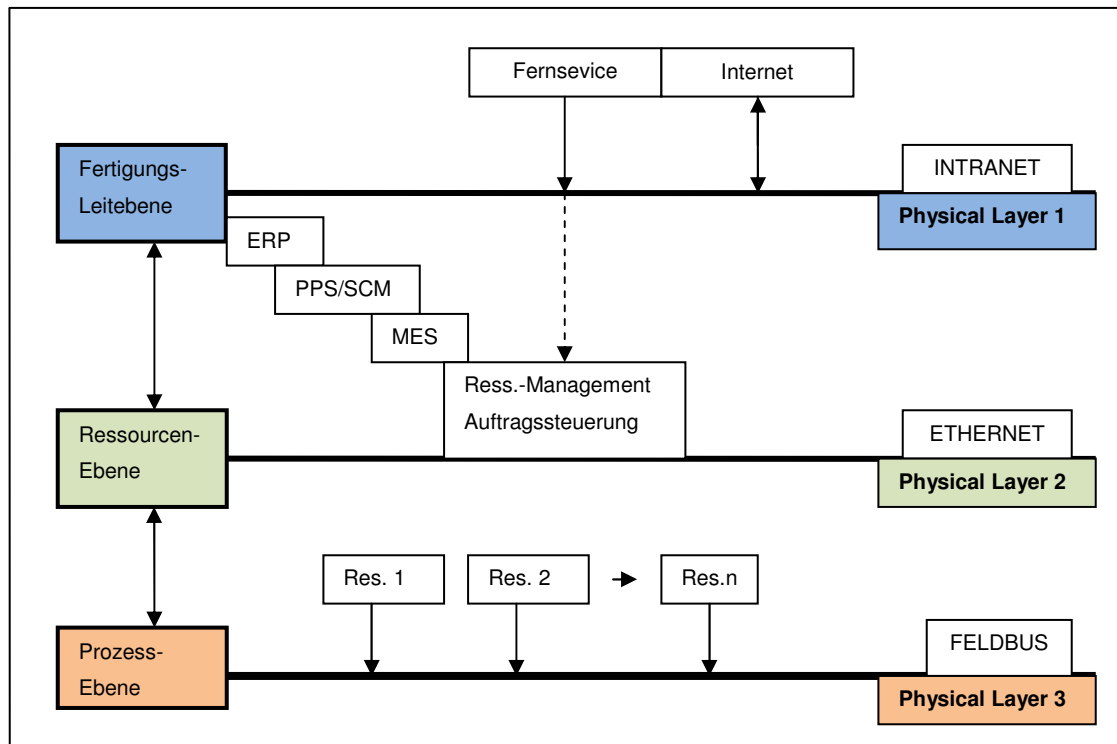


Abb. 19b : Kommunikationsnetz-Schichten bei 2-stufiger vertikaler Prozessintegration (status quo).

Die Schwachpunkte liegen nahe, Signal- und Datenkommunikation durchgängig mit *einem* standardisierten Physical Layer zu realisieren. Hierfür wird tendenziell Industrial Ethernet favorisiert. Die Protokolle Ethernet IP, Profinet, Modbus, TCP, FF HSE, etc. sind in den Ethernet Physical Layer integrierbar.

Industrial Ethernet mit integrierten Profinet –PTC Protokoll (IEC 61158) oder Priorisierung gem. IEEE 802 1p ist quasi echtzeitfähig. Typische Reaktionszeiten im TCP-IP Protokoll liegen im Bereich kleiner 1 msec.

In DIN-Normengremien wird Vereinheitlichung der Schnittstellen und Harmonisierung der Kommunikationsprotokolle diskutiert [WEN04]. Die angestrebte Standardisierung wird durchgängige Datenkommunikation und bessere PRK2 Applikationen ermöglichen [BEN04], [NOW01], [SCH04/1], [OV06/4].

Im Kapitel 1 und 2 wurde die Ausgangslage, das vertikale Prozessmodell, Kompetenz gebräuchlicher und innovativer QM-Techniken, im Kapitel 3 Stand des Technik zum Prozessmonitoring als ein Basismodul im Lösungsmodell dargestellt. Kapitel 4 präzisiert die Aufgabenstellung.

#### 4. Präzisierung der Aufgabenstellung

DIN/ISO 9000 vermittelt Richtlinien und Metaziele, auf die hin Qualität zu steuern ist. Kontinuierliches Verbessern als Metaziel beinhaltet je nach Betonung zwei Aufgaben und betrifft alle Qualitätskategorien, ist aber simultan zu verfolgen.

In Abbildung 20a wird präzisiert, welche Ausprägung für Kontinuierliches Verbessern angezielt wird.

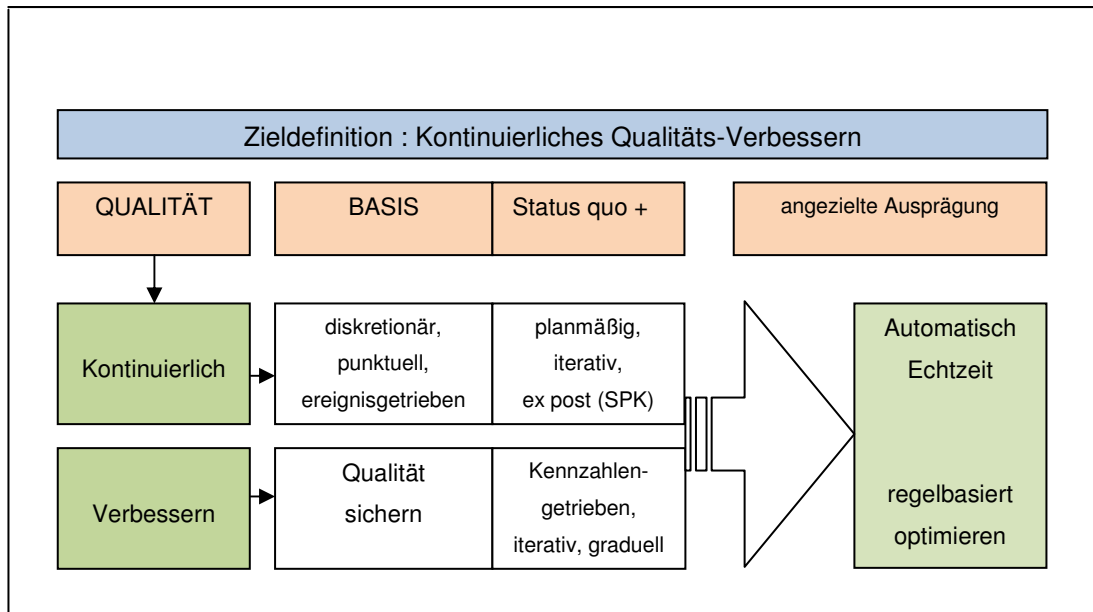


Abb. 20a : Zieldefinition: Kontinuierliche Qualitätsverbesserung

Die Zielstellung ist auf Fertigungsprozesse übertragen. Die Aufgabe lautet sodann: Echtzeit-Optimierung dynamischer Bearbeitungsprozesse.

Prozesse im PRK2 sind von hoher Dynamik und von vernetzten, nicht-linearen Parameterbeziehungen gekennzeichnet. Die Beziehungsgeflechte sind mit derzeit gebräuchlichen QM- Techniken nicht analysier- und steuerbar. Deshalb ist ein System zu entwickeln, das mit innovativen Verfahren konfiguriert und dynamische Bearbeitungsprozesse zu den im PRK2 bestehenden Bedingungen optimiert.

Der Zusammenhang und Lösungsansatz wird in Abbildung 20b am praktischen Applikationsbeispiel verdeutlicht.

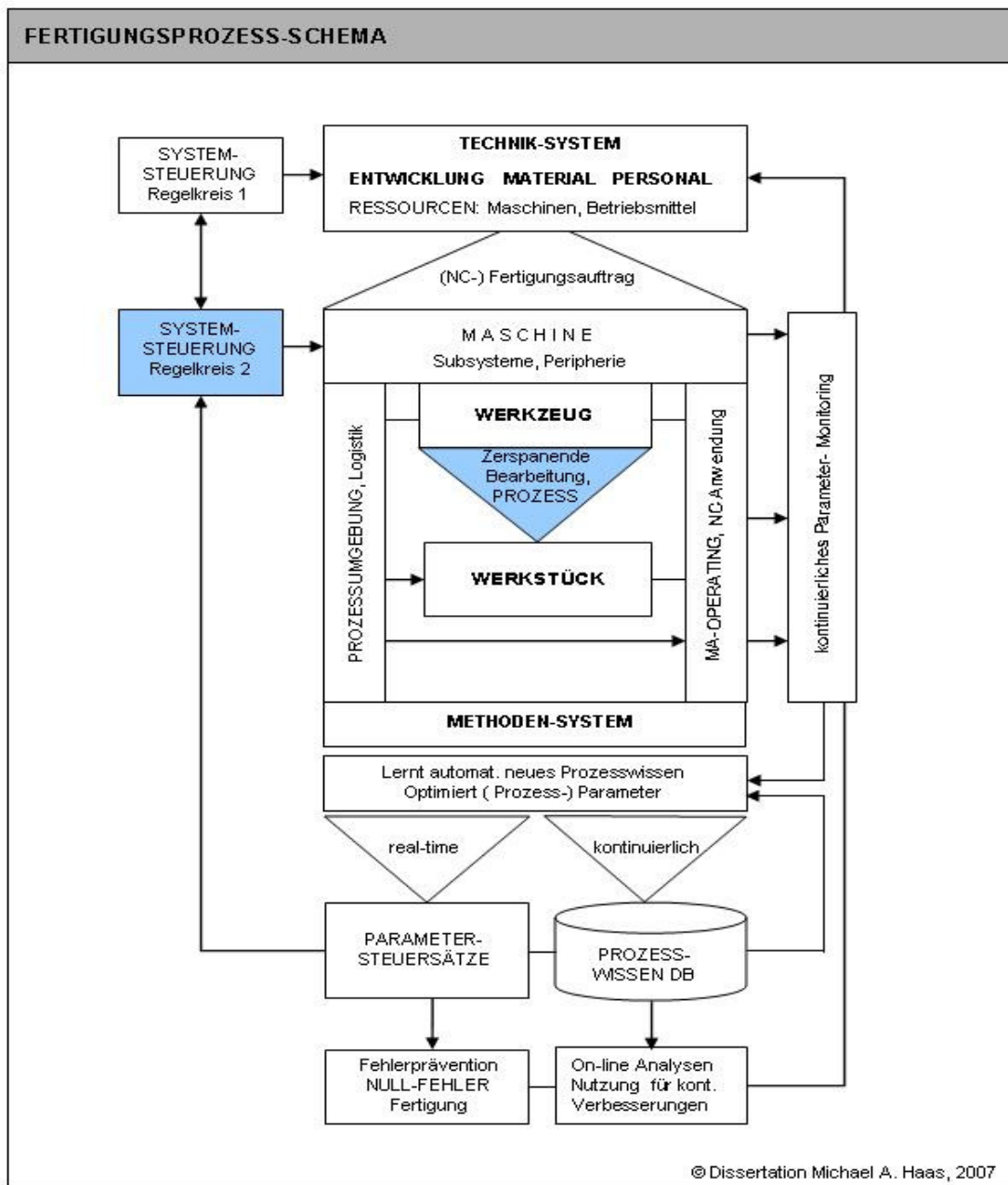


Abb. 20b: Schema zur Präzisierung der Aufgabenstellung

Den Daten-Input liefert das kontinuierliche Monitoring. In der daraus entstehenden Datenmatrix sind Zustände der Prozessressourcen und Prozessumfeldes (als Modellparameter) und variable Steuerungsparameter beschrieben. Die Anforderungen an das System leiten sich daraus wie folgt ab:

Durch selbstständiges Lernen Optimierungsoptionen automatisch erkennen, Prozesswissen mit einer Schleife in den KDD- Prozess rückkoppeln, damit Wissensgenerierung perpetuieren und Prozessregeln dem nachfolgenden KDD –Prozess sofort nutzbar machen.

- Parametersteuersätze ermitteln, die den Bearbeitungsprozess in Echtzeit auf eine wählbare Zielfunktion ( z.B. Werkzeugstandweg) hin optimieren.
- dem Qualitäts- und Ressourcenmanagement wachsendes Prozesswissen bereithalten und mit Analysen über aktuelle und historische Prozessverläufe dem Technikbereich gezielte Hinweise für kontinuierliche Ressourcenverbesserungen zur Verfügung stellen.

Die Rahmenbedingungen, Parametermerkmale und Besonderheiten der im PRK2 zu steuernden Prozesse werden im Kapitel 5 beschrieben.



## 5. Theoretische Untersuchung im Anwendungsgebiet

Die Prozesslandkarte (vgl. Abbildung 3) zeigt nach erweiterter vertikaler Prozessintegration ebenenspezifische Aufgaben, herausfordernde Qualitätsziele und QM- Methoden, die in den Kapiteln 1 bis 3 erläutert und in der Abbildung 21 zusammengefasst werden.

<b>Qualitätssteuerung, Ebenenmodell</b>				
<b>EBENE</b>	<b>QUALITÄTSZIELE</b>	Qualitäts-Management Methoden + Systematiken	Parameter- (Re-) Aktionszyklen	Merkmale und Ziele Qualitäts- u. Prozess steuerung
<b>PLANUNG</b>				
ERP-Geschäfts- Prozesse	Ku.-Auftrag DLZ-> min. (bereichsübergreifend) Produktgestaltung	klassische QMM Six-Sigma u.a. QFD, SVP	Jahre, Monate Wochen, Tage	Makro-Prozesse mit linearen Parameterbeziehungen s.q: Kennzahlen-basierte Q- Steuerung, iterative Verbesserung
<b>RESSOURCEN</b>				
Maschinen und Betriebsmittel- Management	optimale Ressourcen-Nutzung und -Verfügbarkeit	klassische QMM, SPK CAQ, TPM, MES-Softw. Motion Control Condition Control	Wochen, Tage, Schichten Stunden	lineare- (z.Tl.wechselseitige Parameterbeeinflussung, iterative Parameter- Optimierung
<b>F.- PROZESSE</b>				
Werkstück- bearbeitung	Fehlervermeidung Null-Fehler-Fertigung	kontin. Monitoring Prozessparameter online Proz.-Analytik	Minuten, Sekunden Millisekunden	vernetzte,nicht-lineare Parameterbeziehungen (Echtzeit) Prozess-Optimierung
© Dissertation Michael A. Haas, 2006				

Abb. 21: Qualitätsziele, Systematiken, Parameteraktionszyklen und Steuerungsmerkmale im Ebenenmodell

Parameter- und Steuerungsmerkmale im PRK2 werden nachstehend beispielhaft anhand eines Bohrprozesses erläutert.

### 5.1. Prozessparameter- Typen und Charakteristiken

Fertigungsprozess beeinflussende Parameter verlaufen zum Teil sprunghaft, zum Teil stetig. Grenzfall stetiger Parameter sind die konstanten Parameter, die sich im Zeitverlauf i.d.R. nicht verändern. Sprunghaft veränderliche Parameter sind schwieriger zu behandeln, da deren Verlauf nur bedingt prognostizierbar ist. Abbildung.22 zeigt typische Beispiele.

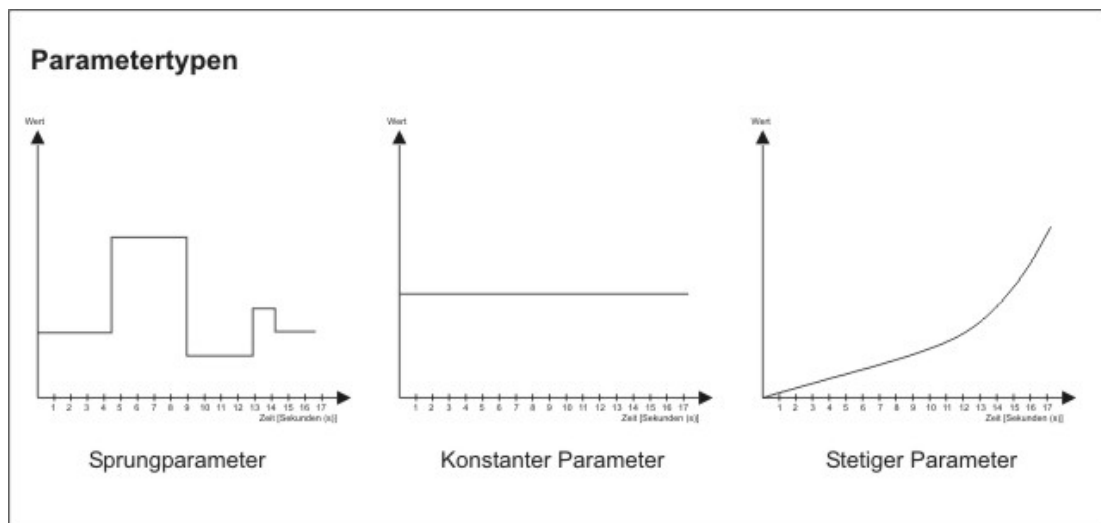


Abb. 22: Beispielhafte Parametertypen

Für jeden Parameter sind Toleranzbereiche und Regelungsgrenzen zu definieren, bei deren Über- / Unterschreitung Modifikationen vorgenommen werden, die den Parameterwert in den Normalbereich zurückführen. Die Regelungsgrenze wird durch Erfahrungswerte bestimmt, kann aber auch analytisch berechnet werden.

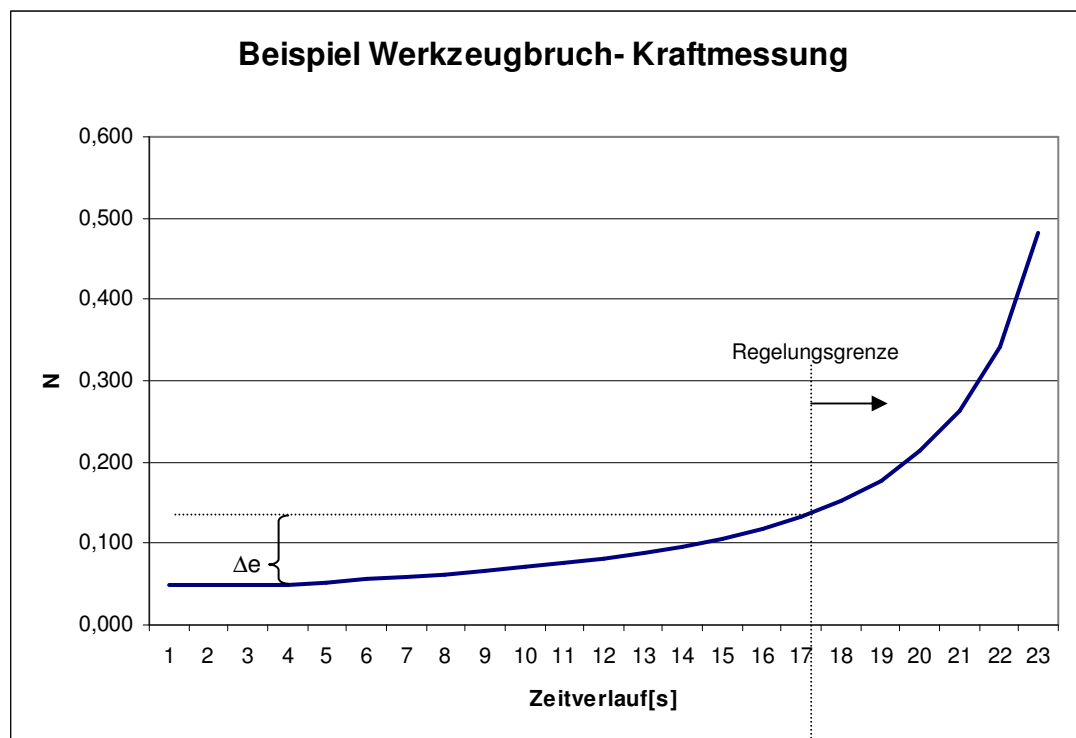


Abb.23: Bohrkraftmessung und Regelung (bei Verschleißgrenze bei  $\Delta e = +140\%$ )

Abbildung 23 zeigt ein Regelungsdiagramm mit stetigem Parameterverlauf. Tangiert ein Parameterwert die definierte Eingriffsgrenze, indiziert das System Regelgrößen, die den Parameter in das Toleranzfeld zurückführen. (Praktisches Beispiel: Ohne Regelung der Bohrkraftverlaufs erhöht sich das Werkzeugbruch-Risiko)

## 5.2. Parameter-Abhängigkeiten und Wechselwirkungen

Die industrielle Praxis kennt mehr als 200 Parameter, die abrasive Bearbeitungsprozesse unterschiedlich stark beeinflussen. Temperatur ist im Spanprozess ein essentieller Einflussfaktor. Der Wärmegang ist u.a. von der Materialart, Spindeldrehzahl, Vorschub, Spanform, Kühlmittelstatus und dem Werkzeugzustand abhängig. Dieser Parameter zeigt sich besonders sensibel; bei der Werkstückbearbeitung mit Maßgenauigkeit und Oberflächengüte im Mikro- und Nano- Bereich beeinflusst die Umgebungstemperatur bereits das Messergebnis. Charakteristisches Merkmal sind die Wechselwirkungen zwischen den am Prozess beteiligten Parameter. Die Zusammenhänge sind mit netzförmigen Beziehungsgeflechten darstellbar.

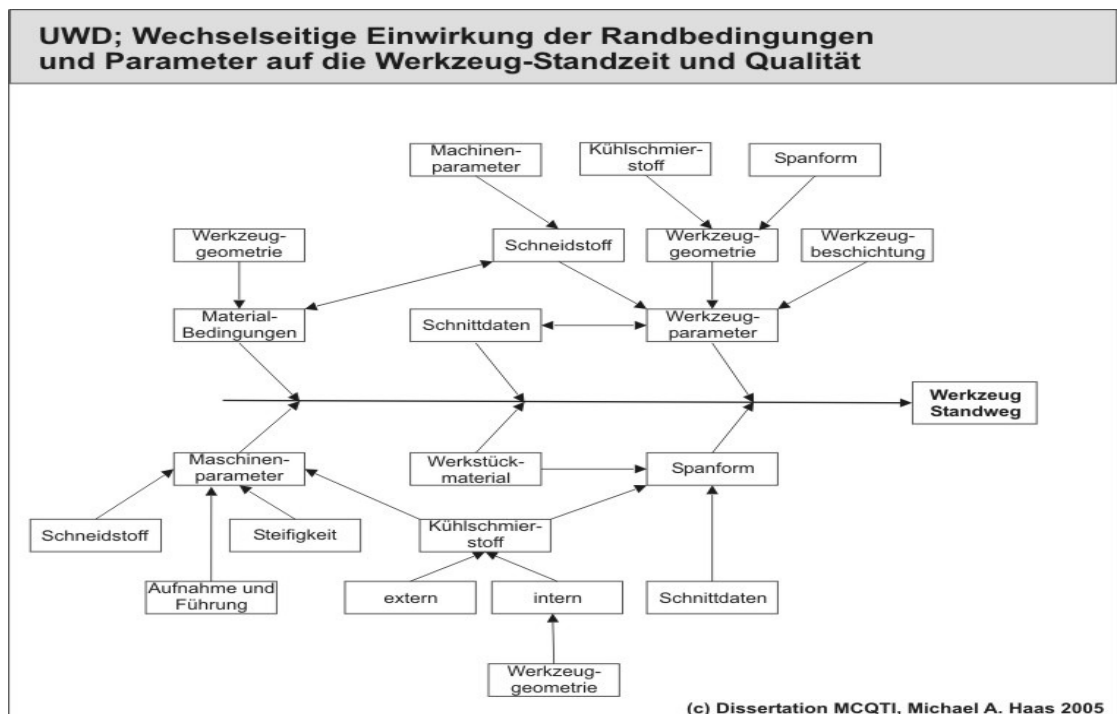


Abb. 24: Ursache Wirkungsdiagramm zum Werkzeugstandweg

Abbildung 24 zeigt eine Anzahl Parameter, die in vernetzten Abhängigkeiten das Optimierungsziel (Werkzeug-Standweg) beeinflussen. Dieses Parameternetz wird in der Realität somit von Parametern aus unterschiedlichen Bereichen bestimmt.

### **5.3. Parameter-Aktionszyklen im Prozessregelkreis 2**

Makro- Prozesse auf der Leitebene agieren i.d.R. in Jahres-, Monats-, oder Wochen-Rhythmen. Die Zyklen verkürzen sich in Prozessen auf der Ressourcen-Ebene auf Tage, Schichten oder Stunden, - in Span abhebenden Prozessen in den Minuten-, Sekunden- oder Millisekundenbereich. Die unterschiedlichen Dimensionen legen nahe, zwischen (relativ) langsam- und schnell- laufenden Prozessen zu differenzieren [LIN02]. Während langsam- laufende Prozesse in der Regel von Kennzahlen gesteuert werden, wird diese bei schnell laufenden Prozessen mit Parameterreaktionszeiten im Sekunden bzw. Millisekundenbereich unmöglich.

Dieser Dynamik entsprechend können PRK2-Prozesse nicht mit Listen, Statistiken oder Kennzahlen gesteuert werden.

### **5.4. Prozesssteuerung im Prozessegelkreis 2**

Vorrangiges Steuerungsziel war bisher Prozess-Stabilisierung durch Regelung der Parameterwerte im zulässigen Toleranzband und in für Gutteileproduktion typischen Konstellationen (vgl. statistische Prozess Kontrolle).

Auf Grund vernetzter Parameterbeziehungen und Wechselwirkungen werden Effekte, die von *einem* grenzwertigen Parameterwert ausgehend, durch andere Parameter kompensiert, verstärkt oder abgeschwächt. Die Regelung eines Parameters auf einen bestimmten „Standardwert“ kann punktuelle Abweichungen korrigieren und so den Prozess stabilisieren. Das Ziel, Prozesse integrativ kontinuierlich zu verbessern wird damit jedoch nicht erreicht. Dies wird bewirkt, indem Prozessparameter im ihrem kausalen Wirkungszusammenhang auf ein definiertes Zielkriterium hin optimiert werden.

Im PRK2 Prozessen sind variable, in kurzen (Re-)Aktionszyklen interagierende Parameter notwendigerweise in Echtzeit zu steuern. Der Echtzeit (Real-time) Modus wird an dieser Stelle als schnellstmöglich bzw. so schnell wie nötig definiert. Die

Skalierung wird von der jeweiligen Anwendung und der Reaktionsfähigkeit des Fertigungssystems bestimmt.

### 5.5. Prozess-Optimierung im Prozessregelkreis 2

Optimierung bezieht sich - unter simultaner Berücksichtigung der Nebenbedingungen - auf **eine** Zielgröße.

In Span abhebenden Prozessen sind Schneidwerkzeuge unmittelbare Qualitätsfaktoren. Am Werkzeug zeigen sich oftmals Symptome, die von Funktionsstörungen der Maschine (z.B. Schwingungen, Spindelunwucht, etc.) oder Ereignissen in der Prozessumgebung (z.B. Spannungsabfall, Temperaturen) ausgelöst wurden. Deshalb sind Maßabweichungen oder mangelhafte Bearbeitungsoberflächen nicht ausschließlich auf Werkzeugmängel zurückzuführen. Dennoch bleibt das Werkzeug der Ansatzpunkt bei der Prozessoptimierung. Die Ziel lautet, den Werkzeugstandweg zu maximieren; konkret: den Bearbeitungsprozess unter gegebenen Prozess-, Umgebungsbedingungen und Leistungsanforderungen der Applikation- zu optimieren, so dass am Werkzeug möglichst geringer Verschleiß auftritt.

Werkzeugverschleiß wird beispielsweise mit der Größe der Verschleißmarkenbreite (VB) an verschiedenen Werkzeuggeometrien gemessen. Auf einer Skala von 1 bis 5 wird definiert, bei welchem Verschleißmaß qualitative Funktionsanforderungen verletzt sind, die zum Werkzeugaustausch zwingen. Qualifiziertes Equipment zur Messung der Verschleißmarken während der Schnittprozesse steht zur Verfügung.

## 6. Qualitätsbereiche und Prozessparameter

Für die Entwicklung eines integrierten Qualitätssteuerungs-Systems ist die Strukturierung des Prozessfeldes von besonderer Bedeutung. Die Strukturierung wird folgend beschrieben:

### 6.1. Qualitätseinflussbereiche in PRK2-Prozessen

Qualität in PRK2-Prozessen wird von Faktoren aus sechs Bereichen bestimmt. Diese Qualitäts- bestimmenden Bereiche (QB) sind

- Werkzeug / tool (to) - Werkzeug-Design und -Charakteristikparameter
- Maschine / machine (ma) - Maschinen- / Anlagenparameter
- Peripherie / environment (en) - Subsystem-/ Environment, Umfeld
- Werkstück / workpiece (wp) - Werkstück, Werkstoff- und Materialparameter
- Logistik / logistic (lo) - Materialflussparameter
- Anwender / operator (op) - Anwendung und Operating, (Maschinenbedienung)

In mathematischer Darstellung:  $\Theta_{to}, \Theta_{ma}, \Theta_{en}, \Theta_{wp}, \Theta_{lo}, \Theta_{op}$

Prozessqualität  $\Theta_{prozess}$  ist demnach eine Funktion einzelner Bereichsqualitäten

$$\Theta_{prozess} = f(\Theta_{to}, \Theta_{ma}, \Theta_{en}, \Theta_{wp}, \Theta_{lo}, \Theta_{op})$$

Einflussstärke einzelner Bereiche auf Prozessqualität ist unterschiedlich, und aufgrund vernetzter Parameterbeziehungen nicht linear.

Aufgabe integrativer Qualitätssteuerung ist, diese wechselseitigen Abhängigkeiten zu koordinieren und bei Prozessoptimierung als Rahmenbedingungen simultan zu berücksichtigen.

Abbildung 25 verdeutlicht den Zusammenhang:

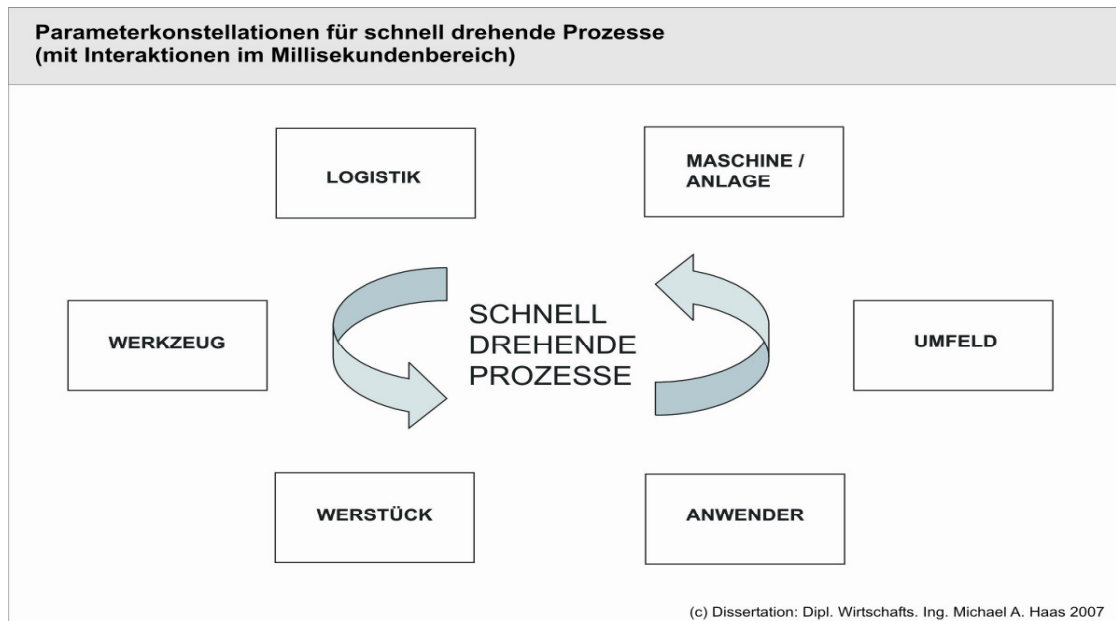


Abb. 25: Wechselwirkungen der Parametereinflüsse im Fertigungsprozess

Parameter dieser sechs Bereiche interagieren über Ereignis- und Wirkungsketten im Beziehungsnetz und beeinflussen die Prozess- und Fertigungsqualität. Diese Vernetzung ist entscheidendes Merkmal, das **QUALITY NETWORKING** mit entsprechenden Algorithmen und Instrumenten erfordert.

## 6.2. Prozessparameter – Gruppen im PRK2

Im Kontext zur vorstehender Systematik und um die Beziehungsgeflechte im Lösungsmodell operationalisierbar zu machen sind Qualitätseinflussparameter in Prozessbereiche zu gruppieren. Eine Auswahl im PRK2 relevanter Parameter wird nachfolgend beschrieben.

### 6.2.1. Parameter im Qualitätsbereich Werkzeug

Folgende Werkzeugparameter sind qualitätsbestimmend:

- Freiwinkel an Schnittwerkzeugen (fixer Parameter)  
Abhängig vom zu bearbeitenden Material und Applikation wird ein Freiwinkel am Schneidkeil des Werkzeuges definiert. Ein zu großer Freiwinkel führt zu instabiler Schneide, Ausbrüchen und in Folge zu einem verfrühten Standzeit-

Ende des Werkzeuges. Verschleiß am Freiwinkel des Werkzeugs manifestiert sich an schlechter Oberflächenqualität.

- Verschleißposition x (VPx)  
Je nach Applikation treten variable Verschleißpositionen auf. Diese zeigen sich an der Hauptschneide, an den Stützphasen, in den Spannuten, auf dem Werkzeugrücken und an der Querschneide des Werkzeuges.
- Verschleißmarkenbreite an VPx  
Jeder Werkzeugverschleißposition wird der variable Parameter Verschleißmarkenbreite beigeordnet, der den Grad des Verschleißes wiedergibt. In der Regel wird dabei eine Skala von 1 bis 5 gewählt, wobei 1 für kaum messbarer Verschleiß und 5 für Werkzeugbruch (durch Verschleiß) steht.
- Werkzeugspanwinkel (Typ: fix)  
Der Parameter definiert die Geometrie des Schneidkeiles. Er ist abhängig von Material und Bearbeitungsform und kann im Grenzfall einen negativen Wert annehmen.
- Werkzeugkeilwinkel (Typ: fix)  
Die drei bestimmenden Winkel des Schneidkeiles sind Spanwinkel, Keilwinkel und Freiwinkel. Die Summe dieser Winkel ergibt immer 90 Grad. Der Werkzeugkeilwinkel verändert sich während der Bearbeitung nicht. Ein zu geringer Keilwinkel kann zu instabilen Schneiden führen. Form und Wertbestimmende Faktoren sind zu bearbeitende Materialien, Maschinen- / Anlagentyp und die Anforderungen der jeweiligen Applikation.
- Werkzeugrundlauf (Typ: variabel)  
Der Werkzeugrundlauf kann sich durch Vorschub-Belastung oder Wärmeentwicklung während des Bearbeitungsprozesses verändern. Schneidwerkzeuge weisen im Standard Rundlauffehler kleiner 5 µm auf, gemessen bei 2xD (zweifacher Durchmesserabstand des Werkzeuges vom Schaft Anfang)



- Werkzeugdrehrichtung (Typ: fix)  
Rotations- symetrische Werkzeugen werden nach links- schneidend und rechts- schneidend unterschieden. Dieser Parameter ist von Bedeutung, mit dem der Abgleich zwischen Spindeldreh- und Werkzeugschneidrichtung einfach vorgenommen werden kann.
- Werkzeugvibration (Typ: variabel)  
Werkzeugvibration entsteht durch Rundlauffehler, durch Verschleiß oder grenzwertige Parameter der Arbeitsspindel oder Maschinensubsysteme. Vibrationen sind als Resultierende i.d.R. messbar und oftmals akustisch wahrzunehmen; starke Werkzeugvibrationen führen regelmäßig zu Bearbeitungsmängeln, können Werkzeugbruch verursachen und somit zu sofortigem Prozessende führen.

#### **6.2.2. Parameter im Qualitätsbereich Werkstück-Material**

Die Eigenschaften des Werkstückmaterials sind hinsichtlich Bearbeitungsqualität vorrangige Einflussfaktoren. Typische Materialfehler sind Inhomogenitäten im Werkstück. Inhomogenitäten können in definierte (DI) und nicht definierte (NDI) unterteilt werden. Definierte Inhomogenitäten sind z.B. Querbohrungen und nicht rechtwinklige Werkstück- Bearbeitungspositionen. NDIs sind z.B. Einschlüsse, Lunker oder andere Materialstrukturfehler. Nicht definierte Inhomogenitäten können zu erhöhtem Verschleiß an den Werkzeugführungsphasen, Beschädigungen, Standweg- Reduzierung, im Extremfall zu Werkzeugbruch führen. Von NDI's verursachte Fehler werden dem Qualitätseinflussbereich Werkstück-Material zugeordnet.

Werkzeuge werden unter Sicherheits- und Qualitätsaspekten auf definierte Material-Inhomogenitäten ausgelegt.

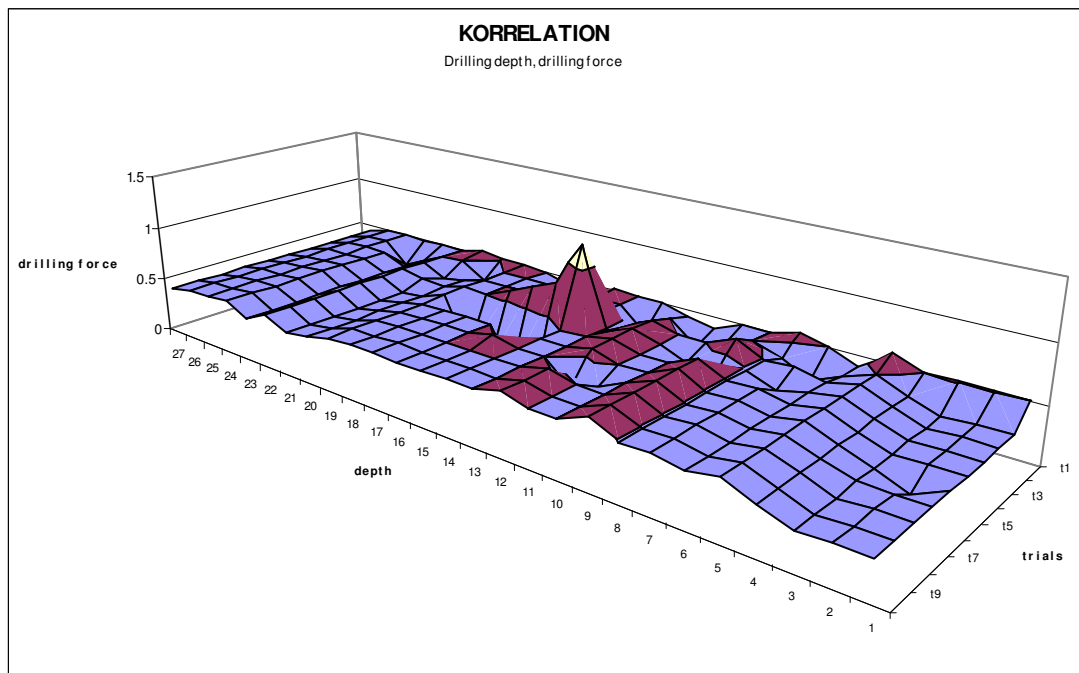


Abb. 26: Material-Inhomogenität ( aus 10 Bohrversuchen am Parameter Spindellast erkennbar).

Abbildung 26 zeigt ein Beispiel zur Materialinhomogenität, die an Hand atypischer Veränderungen der Spindellast erkannt wird. Ähnliche Graphen ergeben sich bei der Aufbauschneidenbildung (ABS), wenn erhöhte Spindellast permanent oder länger dauernd anliegt. Bei temporär unterbrochener Kühlmittelzufuhr ergäbe sich in der Grafik nicht die typische Peak Bildung; die Abbildung würde somit eine andere Auswertung aufzeigen.

Wesentliche Werkstück-Material-Parameter:

- Vorbehandlung des Werkstückes (Typ: fix)  
Der Parameter bezeichnet den Bearbeitungszustand des Werkstückes. So sind z.B. Bohrungen in überfräste Flächen anders zu bearbeiten als in gegossene Flächen oder in Rohmaterial.
- Materialqualität (Typ: variabel)  
Materialqualitäten sind umfangreiche in Normen definiert.  
Materialqualitäten sind im Vorfeld der Bearbeitung bestimmt, können sich während der Bearbeitung verändern. Dem Parameterwert kann z.B. der Vorschub bei der Bohrung angepasst werden.

- Applikations-Parameter (Typ: fix)  
Im Fertigungsplan (NC-Programm) werden Parameter definiert, die direkten Einfluss auf das Material und Werkstück ausüben.  
Beispiel: Bei Bohrung in Kupfer reagiert das Material schnell auf Temperatur Veränderungen, wodurch die Toleranzhaltigkeit einer Bohrung gefährdet bzw. schwieriger zu beherrschen ist.
- Material ID (Typ: fix)  
Die Material-Nummer dient der Identifikation des Materials. Der Wert wird aus dem Werkstück/Teile-Stammsatz übernommen.
- Materiallage (Typ: fix)  
Die geometrische Lage des Werkstücke ist ein entscheidender Faktor für die Bearbeitung. Bei fehlerhafter Werkstückposition treffen Werkzeuge mit unterschiedlichem Eingriffswinkel auf die Oberfläche, was zu Fluchtungsfehler führen kann.  
Der Parameter ist i.d.R. fix. Es sind jedoch auch Bearbeitungen am stehenden Werkzeug mit Rotationsbewegungen des Materials bekannt. In diesem Fall ist die Materiallage variabel, da das Material drei-dimensional rotieren kann.
- Material Querbohrung (Typ: variabel)  
Querbohrungen sind definierte Material- Inhomogenitäten. Der Parameter „Material Querbohrung“ bezeichnet somit im Vorfeld, ob DIs vorhanden sind.
- Materialhomogenität (Typ: variabel)  
Mit dem Parameterwert werden nicht- definierte Material- Inhomogenitäten abgebildet. ( Lunker, Einschlüsse, Materialverdichtungen)

### **6.2.3. Parameter im Qualitätsbereich Maschine**

Maschinenfehler kommen durch Überlastung oder Verschleiß wichtiger Subsysteme zu Stande. Deren Zustände können über Motion-Control bzw. Condition-Monitoring erfasst werden. Unregelmäßigkeiten (z.B. Verschleiß, Unwucht, Rundlauf-Fehler, Vibrationen, Wärmegang, etc.) beeinflussen den Fertigungsprozess und können zu

Maßabweichungen und/oder mangelhafte Bearbeitungsoberflächen führen. Typische Parameter im Maschinenbereich sind:

- Spindeldrehzahl (Typ: variabel)  
Der steuerbare Parameterwert ist abhängig von der Materialart, Bearbeitungsfolge (NC-Programmvorgaben), vom Werkzeug-Design u.a. Bei höherer Spindeldrehzahl verschlechtert sich der Spindelrundlauf, der eine Ereigniskette auslöst, die ggf. zu Bearbeitungsfehler führt.
- Anlagenzustand (Typ: variabel)  
Anhaltspunkte für Beschreibung des Anlagenzustandes können sein: Alter der Maschine, Verschmutzungsgrad, Wartungsstatus, Anlagenbelastungs- und Verschleißprofil peripherer Einheiten. Der Status wird wesentlich von der Instandhaltungs-Strategie bestimmt (Zustands- oder Zeit- gesteuerte Wartung/ Instandhaltung) [STE07/2].
- Vibration (Typ: variabel)  
Vibrationen z.B. an Spindellager und Werkzeugen gefährden die Maß-Toleranzhaltigkeit bei spanender Bearbeitung signifikant und führen, besonders bei Vollhartmetallwerkzeugen- zu erhöhtem Verschleiß und Standzeit- Reduzierung.  
Überlagerung der Eigenschwingung der Anlage mit denen anderer Peripherie-Subsysteme kann zu verstärkter, evtl. ausgleichend abgeschwächter Vibration der gesamten Maschine führen (Interferenzen).
- Pneumatischer und hydraulischer Druck (Typ: variabel)  
Der pneumatische und hydraulische Druck sind mit Sensoren (Druckwächter) zu kontrollieren.
- Spindel Unwucht (Typ: variabel)  
Die Spindelunwucht steht im Zusammenhang mit der Vibration der Anlage. Der Parameter zeigt das Ausmaß des Rundlauffehlers an. Grundsätzlich gilt: Je größer die Unwucht der Spindellager, umso höher der Verschleiß. Der Zusammenhang zwischen Spindelrundlauf und Verschleiß ist jedoch nicht linear; der Verlauf ist per Motion Control zu überwachen vgl.[OV06/16].

- Spindel offset Position (Typ: variabel)  
In modernen Bearbeitungszentren ist es möglich, eine Offset Position der angetriebenen Spindel zu realisieren. Diese wird z.B. beim Gewinde- Fräsen benutzt. Offset Positionen sind jedoch immer ungenauer als zentrische Bearbeitungen. Der variable Parameter ist kontinuierlich zu überwachen.
- Spindel-Leistungsaufnahme (Typ: variabel)  
Aus der Messkurve zur Spindellastaufnahme lassen sich Prozessverläufe erkennen und Fehlerursachen analysieren. Dieser variable Parameter ist essentiell zur Steuerung des Prozesses, da per Regelung der Spindeldrehzahl der Prozesse relativ einfach optimiert werden kann.

#### **6.2.4. Parameter im Qualitätsbereich Peripherie**

Peripheriegeräte sind externe Einheiten des Maschinensystems (z.B. Kühlmittel-Späneförderanlage, Absaugung, etc.).

Kritische Parameterwerte an Peripheriesystemen, auch an Werkzeugaufnahmen (z.B. Hydrodehnspannfutter) können Toleranzfehler an den Werkstückbohrungen, außergewöhnlichen Verschleiß und vorzeitiges Standzeitende des Werkzeuges bewirken, verfrühten Werkzeugaustausch notwendig machen und damit Effizienz des Fertigungssystems gefährden.

Kühlmittelart, Kühlmitteldruck, Durchflussmenge, Temperatur, Mischungsverhältnis, Synthese (Verschmutzungsgrad) des Kühlmittels sind entscheidende Prozess-Einflussfaktoren.

Hinzu kommen Faktoren aus der Prozessumgebung (z.B. Temperatur im Raum, am Werkstück, Luftfeuchtigkeit, etc.), die einzeln oder kombiniert den Fertigungsprozess insgesamt, speziell Stabilität der Bearbeitungsprozesse signifikant beeinflussen können.

Dem Qualitätsbereich Peripheriesysteme und Prozessumgebung werden folgende Parameter zugeordnet:

- **Kühlmittel-Druck (Typ: variabel)**

Kühlmitteldruck ist an Anzeigegeräten der Zuführungspumpe abzugreifen. Er ist für Werkstück-Oberflächenqualitäten und Standzeiten der Werkzeuge von Bedeutung. Darüber hinaus hat das Kühlmedium z.B. bei Sacklochbohrungen die Aufgabe, den Spänetransport zu unterstützen. Je nach Bearbeitungsaufgabe kann der Kühlmitteldruck zwischen 1 und 150 bar variieren. Kühlschmierstoffe und deren Druck erfüllen folgende Aufgaben:

- a) Werkzeug-Kühlung, die Verschleiß und Standzeit direkt beeinflusst und der Gefügeumwandlung entgegenwirkt.
- b) Spül- und Reinigungswirkung im Werkstück-Bearbeitungsbereich wird gefördert.
- c) Schmierwirkung zwischen dem Werkzeug und dem zu bearbeitenden Werkstoff.
- d) Temperatur-Regulierung an Maschinen- und Prozess-Komponenten auf konstantem Niveau. (Wärmegang-Steuerung)
- e) Korrosionsschutz für Maschine, Werkstück und Werkzeug.
- f) Verhinderung der Aufbauschneidenbildung.
- g) Binden von Stäuben, die während der Bearbeitung entstehen.

- **Spanform (Typ: variabel)**

Die Spanform gibt aufschlussreiche Hinweise zum Verlauf des Spanprozesses. Typische Spanformen zeigt die Abbildung 27:

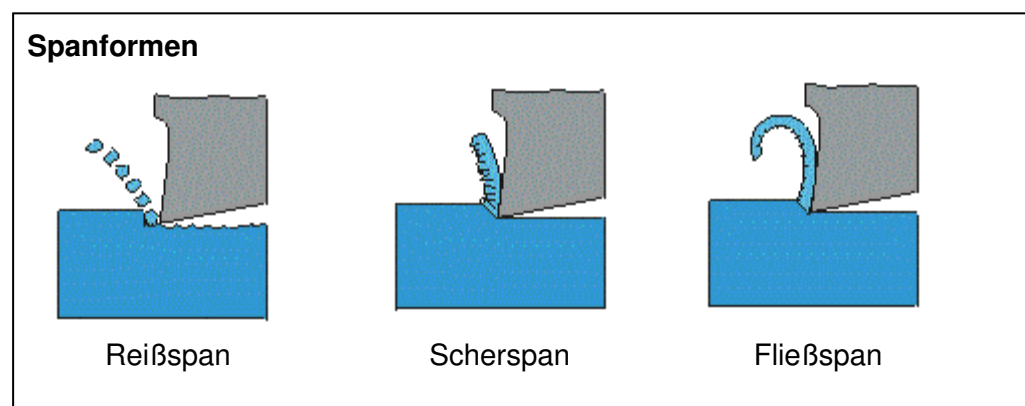


Abb. 27: Typische Spanformen im Zerspanprozess

Die Spanform ist von bestimmten Prozessparameter-Konstellationen abhängig und für die Abführung von Prozesswärme von großer Bedeutung. Reißspäne entstehen bei (zu) geringer Schnittgeschwindigkeit und (zu) großem Vorschub, die zu starker Werkzeugbelastung führen. Fließspäne belasten Werkzeuge weniger, was zu höheren Standzeiten beiträgt. Mit Fließspänen sind gute Werkstück- Oberflächen und große Spanvolumen zu realisieren. Scherspäne entstehen bei mittleren Schnittgeschwindigkeiten und dementsprechend angepassten Vorschub.

- Spannfutter – Rundlauf (Typ: variabel)  
Rundlauf des Werkzeuges, der Arbeitsspindel, sowie des Spannmediums beeinflussen den Werkzeug-Verschleiß. Dieser variable Parameter ist per Matching, d.h. Rundlauffehler-Punkt um/auf 180 Grad versetzen, auszugleichen [OV06/16].
- Spannfutter – Klemm-Druck (Typ: variabel)  
Neben der Arbeitsspindel und dem Werkzeug kommt dem Spannsystem eine entscheidende Rolle zu. Effektive Kraftübertragung von der Spindel auf das Werkzeug ist nur mit entsprechendem Klemmdruck zu gewährleisten.
- Qualität der Stromversorgung (Typ: variabel)  
Stabilität der Stromversorgung (Spannungsspitzen, mangelhafte Stromspannung mit Spannungsabfall) ist bei bestimmten Maschinen mit speziellen Anwendung von Bedeutung [OV06/15].
- Kühlmitteltemperatur (Typ: variabel)  
Kühlmedien temperieren den Bearbeitungsprozess. Temperatur ist ein wichtiger Prozesseinfluss-Parameter und deshalb mit Priorität permanent zu überwachen und absolut-, oder raumgeführt zu regeln.
- Lufttemperatur (Typ: variabel)  
Weiter ist die absolute Lufttemperatur von Bedeutung. Die Differenz der beiden Temperaturen ist für den Wärmegang der Anlage maßgeblich. Der variable Parameter ist ebenfalls mit Priorität permanent zu überwachen.

- Kühlmittel-Medium

Kühlstoffe sind nach den Kriterien wasser-, oder schmierölbasiert zu unterscheiden. Die Auswahl orientiert sich am Belastungsprofil der Anwendung. Die Qualität (Synthese) hat auf das Bearbeitungsergebnis bedeutenden Einfluss.

#### **6.2.5. Parameter im Qualitätsbereich Anwendung/Operating**

Operating bleibt selbst bei automatisierter Fertigung ein entscheidender Qualitäts-Einflussfaktor. Dem Qualitätsbereich Operating/Anwendung werden Parameter zugeordnet, die vom NC-Arbeitsplan (SPS- gesteuert), oder vom Mitarbeiter manuell beeinflusst werden können.

Neben NC-Programmierung (WOP) und Prozessüberwachung sind die Maschinenbediener in logistische Prozesse involviert, indem die Maschine mit Werkzeugen bestückt, Werkstücke in die Bearbeitungsmaschine eingelegt, fertige Teile der Qualitätskontrolle, oder der nächsten Bearbeitungsstufe zugeführt werden. Empirische Studien belegen, dass Anwenderfehler mit Qualifizierung, Erfahrungswissen und individuellen physischen Beanspruchung des Operators korreliert. So wird Fehlerhäufung unmittelbar nach Arbeitspausen, zum Schichtbeginn die wenigsten Bearbeitungsfehler beobachtet. Prämien- Entlohnungssysteme (Entlohnung pro Gutteil) beeinflussen nachhaltig die Fehlerhäufigkeit.

Im Prozess-Qualitätsbereich Operating/Anwendung sind folgende Parameter von Bedeutung:

- Schnittgeschwindigkeit (Typ: variabel)

Die aktuelle Schnittgeschwindigkeit ist variabel und korreliert mit der Spindeldrehzahl der Maschine. Die Spindeldrehzahl wird i.d.R. im NC-Programm festgelegt. Sie hängt von Material, Bearbeitungsaufgabe und Werkzeug, und von der technischen Leistungsfähigkeit der Anlage ab.

Schnittgeschwindigkeit ist ein wichtiger Steuerungsparameter zur Optimierung des Zerspanungsprozesses. Die Schnittgeschwindigkeit beeinflusst Oberflächenqualität, Verschleißverhalten des Werkzeuges und effektive Fertigungszeit.



- Vorschub (Typ: variabel)  
Neben der Schnittgeschwindigkeit ist der Vorschub entscheidender Einfluss-Faktor in Schnittprozessen. Typisches Beispiel: Bei zu großem Vorschub wird das Werkzeug gedrückt, die Schnittgeschwindigkeit (Rotation des Werkzeuges) ist zu gering. Die Folge ist erhöhter Verschleiß an der Querschneide des Bohrwerkzeugs.
- Anwenderqualifikation  
Verschiedene Untersuchungen und empirische Erfahrungen belegen einen Zusammenhang zwischen Mitarbeiterqualifikation und Fehlerhäufigkeit. Das Kennzeichen Operator-Qualifikation wird gepflegt, um Korrelationen zwischen Anwenderqualifikation und Fehlerhäufigkeit analysieren und Effizienz von Qualifizierungsmaßnahmen messen zu können.
- Operator ID (Typ: fix)  
Die Anwender- Identifikations- Nr. dient dazu, Prozesse und Bearbeitungsschritte eindeutig einem Anwender (Operator) zuzuordnen.
- Schicht Anfang / Schicht Ende / Schicht Verlauf  
Diese drei Parameter dienen dazu, Fehlerauftritte und deren Häufigkeit mit Arbeitszeit-Verläufen in Relation zu setzen.
- Anwendereingriff  
Auch automatisierte Fertigungsprozesse bedürfen manueller Eingriffe durch Operator. Die auf informalen Mitarbeiter know-how gestützte Eingriffe werden protokollarisch erfasst. Daraus können Korrelationen zwischen Eingriffsaktionen und Fehlerhäufigkeit differenziert nach Art, Ort, Zeit, und Phase ermittelt und erfolgreiche Qualitätstaktiken entdeckt werden.

#### **6.2.6. Parameter im Qualitätsbereich Werkstück-Betriebsmittel-Logistik**

Fertigungsprozesse werden von den Maschinenbedienern überwacht. Dies bezieht sich z. B. auf Kommissionierung und Kontrolle des Werkstück- und Materialflusses, mit dem Ziel, zum Fertigungsstart notwendige K.O Kriterien zu erfüllen und Fertigungsunterbrechungen zu vermeiden. Typische Parameter dazu sind:

- Richtiges Werkzeug vorhanden/richtig positioniert. (Typ: fix )  
Diese Parameter-Abfrage wird empfohlen, da in der betrieblichen Praxis beim Werkzeugwechsel häufig das Fehlerbild *Bearbeitung ohne Werkzeug* angezeigt wird.
- Prozesszykluszeit (Typ: variabel)  
Die Prozesszykluszeit ist fortlaufend zu messen. Sie informiert über Fortschritt und Restlaufzeit des Prozesses.  
Der Parameter dient dazu, beim Auftritt eines Prozessfehlers den exakten Zeitpunkt und die Prozessphase zu dokumentieren.
- Anzahl der Werkzeuge im Zyklus (Typ: fix)  
Der Parameter gibt Aufschluss über die Anzahl der Werkzeuge, die im Bearbeitungszyklus im Einsatz sind.
- Aktuelle Bearbeitungsnummer  
Bei mehreren Zerspanungsschritten innerhalb eines Bearbeitungsprozesses bezeichnet der Parameter die aktuelle Prozessnummer. Beispiel: Mehrere Bohrungen an einem Werkstück mit gleichem Werkzeug.
- Aktueller Bearbeitungsparameter  
Der Parameter wird je nach Bearbeitungsaufgabe unterschiedlich definiert. Bei *einer* Bohrbearbeitung z.B. durch die *aktuelle* Bohrtiefe. Dadurch werden Analysen möglich, ob und unter welchen Bedingungen kritische Parameter-Fehler in welcher Bohrtiefe auftreten.
- Aktuelle Tool ID (Typ: variabel, Wertebereich 0 oder 1)  
An Hand der Werkzeugidentifikationsnummer sind Werkzeuge eindeutig zu prüfen und den entsprechenden Prozessen zuzuordnen. Beispiel eines Fehlers in diesem Bereich wäre: Gewindewerkzeug für eine Sackbohrung.
- Aktuelle Material ID  
Damit wird das im Fertigungsauftrag und (NC-) Arbeitsplan definierte Material mit dem real vorliegenden Material verglichen.

Die erkennbaren Überschneidungen bei der Definition und Zuordnung einzelner Parameter in die Qualitätsbereiche sind Indizien und Hinweise auf Wechselwirkungen, die zwischen den Parametern im Bearbeitungsprozess bestehen.

### **6.3. Okkulte Störungen in PRK2- Fertigungsprozessen**

Während des Prozessablaufs treten bisweilen Störungen auf, die vom Prozess-Monitoring nicht erfasst, deshalb nicht lokalisiert und ursächlich nicht identifiziert werden können. Entstehungsgründe sind zufällige Ereignisse die aus Bereichen außerhalb des PRK2 ausgelöst wurden. Die zum Ereigniszeitpunkt vorliegenden Parameterprofile sind zu dokumentieren. Das Melde- und Analysesystem wird (soweit vorhanden) auf wahrscheinlich vom Prozessumfeld herführende Störursachen verweisen. Beispiel hierzu vgl. [MED].

### **6.4. Fertigungsprozess-Steuerung im Workflow**

Fertigungsaufträge (FA) sind Treiber im Fertigungssystem. Vor der Übergabe zur Durchsetzung auf Ressourcen-Ebene prüfen (PPS-) Routinen, ob das benötigte Material, (NC-) Arbeitsplan und freie Maschinenkapazität vorliegen. Unter diesen Voraussetzungen erfolgt Freigabe und Übergabe des Auftrags; der jeweilige Status wird an (elektronischen) Leitständen angezeigt. Vor dem Start des Fertigungsprozesses prüft das Meldesystem die k.o.- Bedingungen im Prozessfeld und fordert ggf. den Operator zu Eingriffen auf. Gelingt die Abhilfe ad hoc wird der Bearbeitungsprozess gestartet. Widrigenfalls wird die Störung an den Maschinen-Service gemeldet, der den Schaden behebt, oder ggf. einen zeitaufwändigen Reparaturauftrag initiiert. Jeder nicht ad hoc behebbare Störfall erfordert eine Statusmeldung an die übergeordnete Fertigungssteuerung. Die Meldesysteme sind in der betrieblichen Praxis oftmals Schwachpunkte. Sie erfassen auch nicht das Know-How der Mitarbeiter, die Störfälle ad hoc mit unterschiedlich qualifizierten Taktiken beheben.

[illegible]

Fazit: Fertigungsauftragsreihenfolgen, Ressourcenzuteilung und Freigabe der Fertigungsaufträge bis zur Maschine werden mit effizienten Methoden gesteuert. Sogenante K.O. Kriterien zum Fertigungsauftrags-Start werden überwacht. Der

Werkstückbearbeitungsprozess wird auf Not- Stopp- Kriterien kontrolliert-, im Übrigen jedoch nicht gesteuert.

Vorstehend wurden die Prozessqualitätsbereiche, Parametermerkmale und vernetzte Parameterwirkungsbeziehungen als charakteristische Merkmale und Rahmen für Qualitätssteuerung im PRK2 beschrieben. Diese Faktoren unterlegen die nachfolgend beschriebene Modellentwicklung und prägen die Anforderungen an das innovative Qualitätssteuerungssystem.

### **6.5. Analysetableau als Ausgangsbasis des Systemmodells**

Die vom PRK2 Prozess-Monitoring gefüllte Parametermatrix dokumentiert das aktuelle und historische Prozessgeschehen. Die Spalten- und Zeilendimension der Parametermatrix wird von der Dichte des PRK2 Messpunkte-Netzes definiert. In der Matrix werden Kopfdaten, (z.B. Kunden / Fertigungsauftrag, Maschinen-Subsystem-, Werkzeug- Nummer, etc.), aus dem PRK1 mitgeführt, um bei Auswertungen bedeutsame Parameter miteinander verknüpfen zu können.

Das von der Prozessdaten-Matrix abgeleitete Analysetableau ist das Datenmodell, das mit den skizzierten Methoden aufgebaut wird. Dabei prüfen Analysen zum Mittelwert-, zur Standardabweichung und Varianz den Datenbestand auf Qualität hinsichtlich Lücken, Ausreißern, Stetigkeit u.a..

Das Analysetableau wird (hier beispielhaft) in fünf Spalten untergliedert:

- a) Qualitätsbereichs-Kennzeichen (analog zu Gruppierung Kapitel 6).
- b) Parameter-Bezeichnung.
- c) Parametertyp. (fix, variabel).
- d) Parameter – Messwerte; die Tabellenspalte wird zum Abfrage-Zeitpunkt  $t(n)$ , die Tabellenspalten  $t(0)$  bis  $t(n)$  in folgenden Abfragetaken gefüllt.
- e) Analysebereich; mit Mittelwerte, Standardabweichung und Varianz. Anhand dieser laufend aktualisierten Referenzzahlen werden Plausibilitätsprüfungen zum Parameterverlauf über die Zeitachse  $t(0)$  bis  $t(n)$  vorgenommen.

Das Analysetableau enthält somit (Modell-)Parameter, die Maschine-Zustände, Werkstückmaterial, -Logistik und das Werkzeug beschreiben, und Parameter, mit denen der laufende Fertigungsprozess gesteuert werden kann. Eine Auswahl davon

wurde im Kapitel 6 beschrieben. Umfängliche Auflistung relevanter Werkzeug- und Materialparameter werden in Kapitel 7 benannt.

Abbildung 29 veranschaulicht das Analysetableau mit Beispielwerten.

Analysetableau (Beispiel) ▼ →											
Aufgabenfelder / scope of duties	Parameterbeispiele / ex. for parameters	var / fix	Messwert in Zeittakt						akt. MWert	akt. st. Abw.	akt. Var.
			t(0)	t(1)	t(2)	t(3)	...	t(n)			
LP	Logistik Parameter	Werkzeug vorhanden	f	0,000	1,000	1,000	1,000	...	0,750	0,500	0,250
		Prozesszykluszeit	v	6,000	5,580	5,560	5,540	...	5,670	0,221	0,049
		Anzahl der WZ im Zyklus	v	1,000	1,000	1,000	1,000	...	1,000	0,000	0,000
		Aktuelle Bohrungsnummer	v	1,000	1,000	1,000	1,000	...	1,000	0,000	0,000
		Aktuelle Bohrtiefe	v	0,100	0,120	0,130	0,140	...	0,123	0,017	0,000
		Aktuelle Tool ID	v	2,000	2,000	2,000	2,000	...	2,000	0,000	0,000
		Aktuelle Material ID	v	32,000	32,000	32,000	32,000	...	32,000	0,000	0,000
		etc.	v	5,010	5,020	5,010	5,010	...	5,013	0,005	0,000
WP	Werkstück-/ Material Parameter	Werkstück vorbehandelt	f	1,000	1,000	1,000	1,000	...	1,000	0,000	0,000
		Materialqualität	v	4,000	4,000	4,000	4,000	...	4,000	0,000	0,000
		Applikationsparameter	v	0,040	0,040	0,030	0,020	...	0,033	0,010	0,000
		Material ID	f	40,000	32,000	32,000	32,000	...	34,000	4,000	16,000
		Material vorbearbeitet	f	0,000	0,000	0,000	0,000	...	0,000	0,000	0,000
		Material Querbohrung	v	0,000	0,000	1,000	1,000	...	0,500	0,577	0,333
		Material Homogenität	v	0,334	0,330	0,322	0,331	...	0,329	0,005	0,000
		etc.	v	0,560	0,560	0,560	0,570	...	0,563	0,005	0,000
MP	Maschinen- / Anlagen Parameter	Spindeldrehzahl	v	5000,000	5000,000	5010,000	5025,000	...	5008,750	11,815	139,583
		Anlagenzustand	f	1,000	1,000	1,000	1,000	...	1,000	0,000	0,000
		Vibrationsparameter	v	0,003	0,002	0,004	0,005	...	0,004	0,001	0,000
		Pneumatik Druck	v	5,800	6,000	6,100	5,900	...	5,950	0,129	0,017
		Spindel Unwucht	v	0,000	0,000	0,000	0,000	...	0,000	0,000	0,000
		Spindel offset	v	0,000	0,000	0,000	0,000	...	0,000	0,000	0,000
		Spindel Leistungsauf.	v	10,000	9,800	9,700	11,200	...	10,175	0,635	0,482
		etc.	f	1,000	1,000	1,000	1,000	...	1,000	0,000	0,000
OP	Anwender- / Bediener Parameter	Schnittgeschwindigkeit	v	123,000	130,000	132,000	125,000	...	127,500	4,203	17,667
		Vorschub	v	0,315	0,340	0,332	0,303	...	0,323	0,017	0,000
		Anwenderqualifikation	v	4,000	4,000	4,000	4,000	...	4,000	0,000	0,000
		Operator ID	v	1,000	1,000	1,000	1,000	...	1,000	0,000	0,000
		Schicht Anfang	v	10,000	0,000	10,000	10,000	...	7,500	5,000	25,000
		Schicht Verlauf	v	2,000	2,000	5,000	2,000	...	2,750	1,500	2,250
		Anwenderseingriff	v	1,000	0,000	0,000	0,000	...	0,250	0,500	0,250
		etc.	v	6,000	6,000	6,000	8,000	...	6,500	1,000	1,000
TP	Werkzeug Parameter	Freiwinkel des Werkzeuges	f	8,000	8,000	8,000	8,000	...	8,000	0,000	0,000
		Verschleißmarkenbreite 1	v	0,000	0,000	0,002	0,004	...	0,002	0,002	0,000
		Rundlauffehler	f	0,003	0,003	0,003	0,003	...	0,003	0,000	0,000
		Werkzeug Drehrichtung	v	1,000	1,000	1,000	1,000	...	1,000	0,000	0,000
		Werkzeugvibration	v	0,040	0,041	0,600	0,600	...	0,320	0,323	0,104
		Verschleißposition 1	v	1,000	1,000	1,000	1,000	...	1,000	0,000	0,000
		Werkzeugspanwinkel	f	2,000	2,000	2,000	2,000	...	2,000	0,000	0,000
		etc.	v	2,000	2,000	2,000	3,222	...	2,306	0,611	0,373
EP	Peripherie Parameter	Kühlmitteldruck	v	28,500	29,000	28,500	28,300	...	28,575	0,299	0,089
		Spanform	v	0,000	1,000	1,000	1,000	...	0,750	0,500	0,250
		Spannfutter Klemm. Druck	f	80,000	80,000	80,000	80,000	...	80,000	0,000	0,000
		Qualität Stromversorgung	v	400,000	400,000	400,000	400,000	...	400,000	0,000	0,000
		Kühlmitteltemperatur	v	21,000	22,000	21,000	24,000	...	22,000	1,414	2,000
		umgeb. Lufttemperatur	v	22,000	23,000	24,000	22,000	...	22,750	0,357	0,317
		aktuelle Spanform	v	1,000	1,000	1,000	1,000	...	1,000	0,000	0,000
		etc.	v	4,780	4,890	5,880	6,010	...	5,390	0,645	0,416

© Dissertation Michael A. Haas, 2005

Abb. 29: Analysetableau, Parameterkonstellationen und -muster (mit Beispieldaten)

In der Spalte *Messwerte in Zeittakt  $t(0)$  bis  $t(n)$*  sind mehrere Zellen mit grenzwertigen Parameterdaten besetzt. Bei der Fortschreibung des Mittelwertes, Standardabweichung und Varianz werden die Vorgänger  $t(n-1)$  bis  $t(n-10)$  einbezogen.

Parametermuster werden im Folgenden definiert als Parametersätze  $t(0)$  bis  $t(n)$ . Die vertikale Parameternaufstellung im Tableau ist beispielhaft und spiegelt nicht die Vernetzungen wieder. Die Parametersätze werden intern gemäß der in Punkt 2.3 und Kapitel 6 erläuterten Systematik systemkonform modelliert. Parametermuster sind in der folgenden Betrachtung von essentieller Bedeutung.

In den vorstehenden Kapiteln wurden die Problemstellung, die Ausgangslage bezüglich prozessorientierter Qualitätssteuerung mit Prozesslandkarte, Stand der QM- Methodik und Technik, damit das Makro-Umfeld zum Thema der Arbeit durchleuchtet.

Das Leitthema der Arbeit Kontinuierliche Qualitätsverbesserung wurde auf die angezielte Ausprägung definiert, nämlich simultan automatisches Optimieren in Echtzeit. Diese Aufgabenstellung ist auf Prozesse im PRK2 zu übertragen.

Das hierfür entwickelte Methodensystem wird im folgenden Kapitel 7 erklärt.

## 7. Entwicklung des Prozessmodells und Methodensystems

Kapitel 4 präzisiert die Aufgabenstellung, die Kapitel 5 und 6 erläutern die Rahmen- und Nebenbedingungen in PRK2-Prozessen. Nachfolgend wird **QUALITY NETWORKING** als Qualitäts-Steuerungs-Schema und das im Kontext dazu entwickelte Methodensystem erklärt.

### 7.1. Quality Networking als innovatives Prozessmodell

Applikationsprozesse im PRK2 sind durch Integration und vernetzten Einflussparameter gekennzeichnet. Prozessautomation wird - neben betriebs- und finanzwirtschaftlichen Notwendigkeiten - vom Fortschritt in den Bereichen Mikromechanik, Sensorik, Messtechnik und vom Vordringen moderner IT- Technologien getrieben. [FAC06], [ALE07].

Den Trendlinien folgend entsteht der in Abbildung 30 aufgeschlagene Entwicklungshorizont. Die Prognose auf der Zeitachse stützt sich auf aktuelle Produktankündigungen und bekannt gewordene Entwicklungen mit Realisierungsperspektive bis zum Jahr 2010, sie ist jedoch mit der für Prognosen üblichen Unschärfe behaftet.

Im Horizont wird **QUALITY NETWORKING** als innovatives Schema für system-, prozess- und mitarbeiterorientierte Qualitätssteuerung plziert, das den technischen Fortschritt auf den Gebieten Automations-, Informations- und Messtechnik mit zukunftsfähigem Qualitätsengineering synchronisiert und über ein intelligent konfiguriertes Methodensystem nutzbar macht.



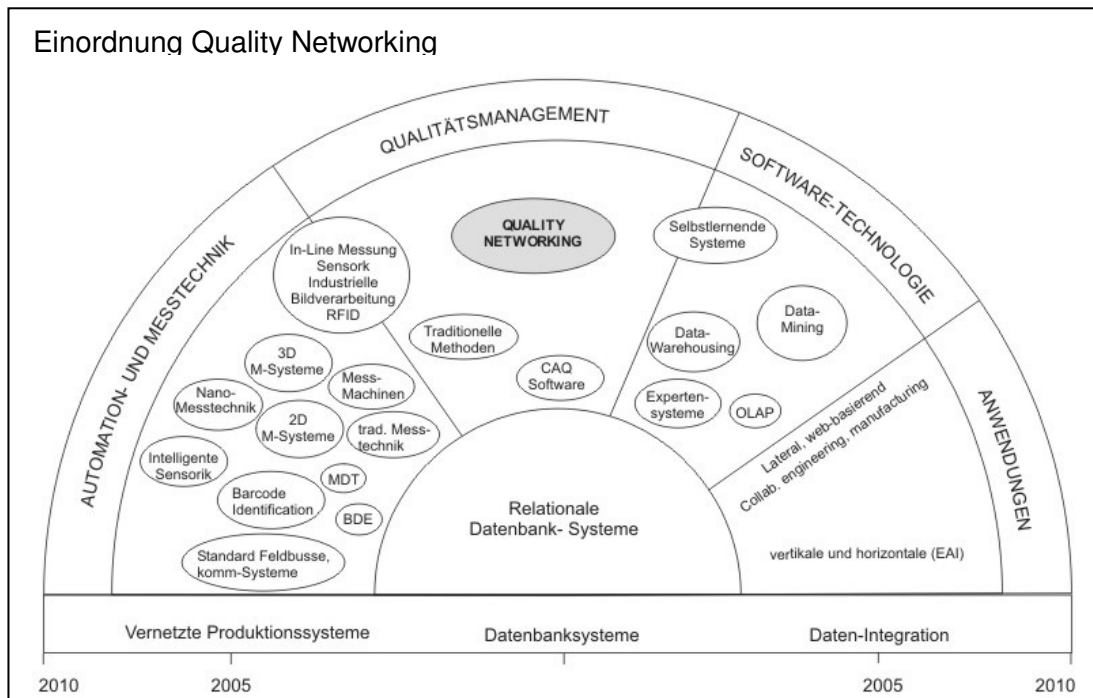


Abb. 30: Positionierung des QUALITY NETWORKINGS

Vertikale Vertiefung (Zooming) des Prozessmodells führt zum Ausgangspunkt und Kern der im Thema gestellten Aufgabe, nämlich Qualität kontinuierlich (in Echtzeit) zu verbessern (optimieren) unter den im PRK2 bestehenden Rahmenbedingungen. Qualität im PRK2 wird von Parametern aus den Bereichen Werkzeug, Werkstück/Material, Maschine/Anlage, Peripherie, Anwender/Operator und Logistik und zwischen diesen Bereichen vernetzt laufenden Ereignisketten beeinflusst. Demnach können sich Fehler in einem Teilbereich manifestieren, die ursächlich in anderen Teilbereichen entstanden sind. Beispiele für derartige Beziehungen sind:

Ursache- Wirkungsbeziehung 1

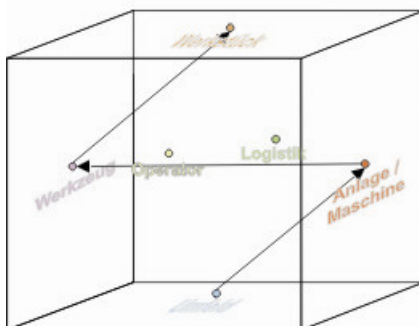


Abb. 31: Ursache- Wirkungsbeziehung 1

Ursache- Wirkungsbeziehung 2

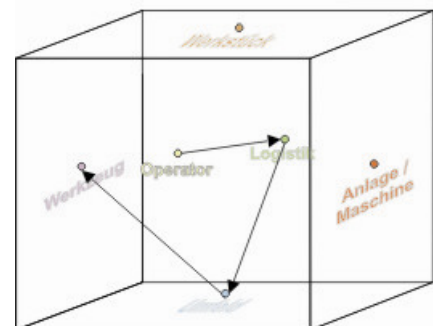


Abb. 32: Ursache- Wirkungsbeziehung 2

Abbildung 31 verdeutlicht eine Ereigniskette; bei zu hoher Kühlmitteltemperatur (QB Umfeld) dehnen sich Schlittenführungen an der Maschine aus (QB Anlage / Maschine). Dies hat zur Folge, dass das Werkzeug nicht genau positioniert wird (QB Werkzeug), das Werkstück erhält eine Bohrung außerhalb der Toleranz (QB Werkstück).

Abbildung 32: Durch eine fehlerhafte Eingabe des Maschinenbedieners (QB Operator) wird vom Handlingsystem ein falsches Werkzeug angesprochen (QB Logistik). Dies wiederum führt zu Fehlfunktion des Handlingsystems (QB Umfeld), Werkzeugbruch ist die Folge, da am (falsch) gewählten Werkzeug die Pilotbohrung fehlt und somit das Werkzeug seine Belastungsgrenze überschreitet. (QB Werkzeug).

Ursache- Wirkungsbeziehung 3

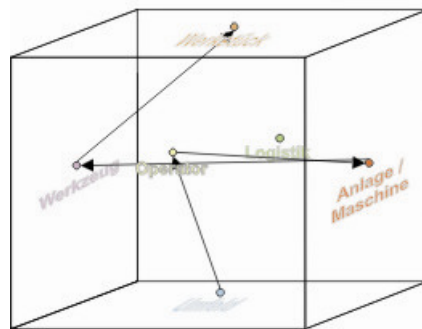


Abb. 33: Ursache- Wirkungsbeziehung 3

Ursache- Wirkungsbeziehung 4

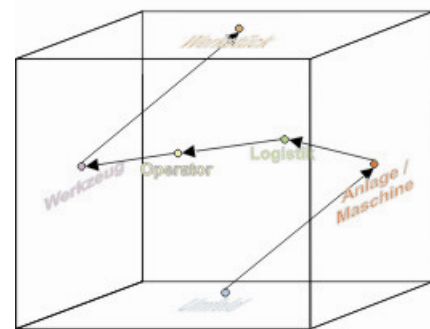


Abb. 34: Ursache- Wirkungsbeziehung 4

Abbildung 33: Aufgrund eines Konzentrationsfehlers des Maschinenbedieners – hervorgerufen durch eine zu hohe Raumtemperatur – wird die Maschine falsch programmiert. Das Werkzeug greift in das Werkstück an einer zuvor nicht definierten Position ein und bricht. Durch den Werkzeugbruch wird die Oberfläche des Werkstückes beschädigt und ist unbrauchbar, das Werkstück wird Ausschuss.

Abbildung 34: Durch starke Verschmutzung der Maschine kommt es zu einer Verunreinigung des Kühlmediums. Folge: Bohrprozess und Maschine werden nicht optimal gekühlt. Der Handlingroboter meldet eine Fehlfunktion, die ein Eingriff des Maschinenbedieners notwendig macht, der wegen mangelnder Qualifikation den notwendigen Werkstückwechsel nicht programmieren kann. (siehe WOP). Das Werkstück wird beschädigt, da die Maschine die Werkstückbearbeitung mit dem falschen Werkzeug versucht.

Es lassen sich beliebig viele Ereignisketten für die Ursache- Wirkungsbeziehungen darstellen. In Summe entsteht das in Abbildung 35 dargestellte Ursache- Wirkungsbeziehungsnetz.

Ursache- Wirkungsbeziehungs - Netz

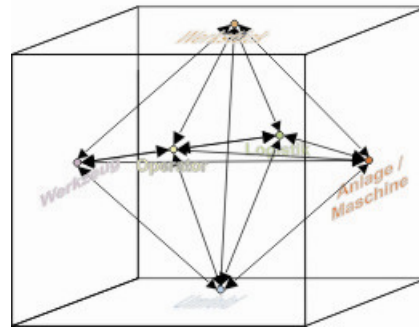


Abb. 35: Ursache- Wirkungsbeziehung Netz

Daraus ist ersichtlich, dass von den Qualitätsbereichen Maschine, Maschinenbediener, Logistik und Umfeld Wechselwirkung zu anderen Qualitätsbereichen aus- und eingehen können. Diese wechselseitigen Einflüsse vernetzter Qualitätsparameter wird als **QUALITY NETWORKING** bezeichnet.

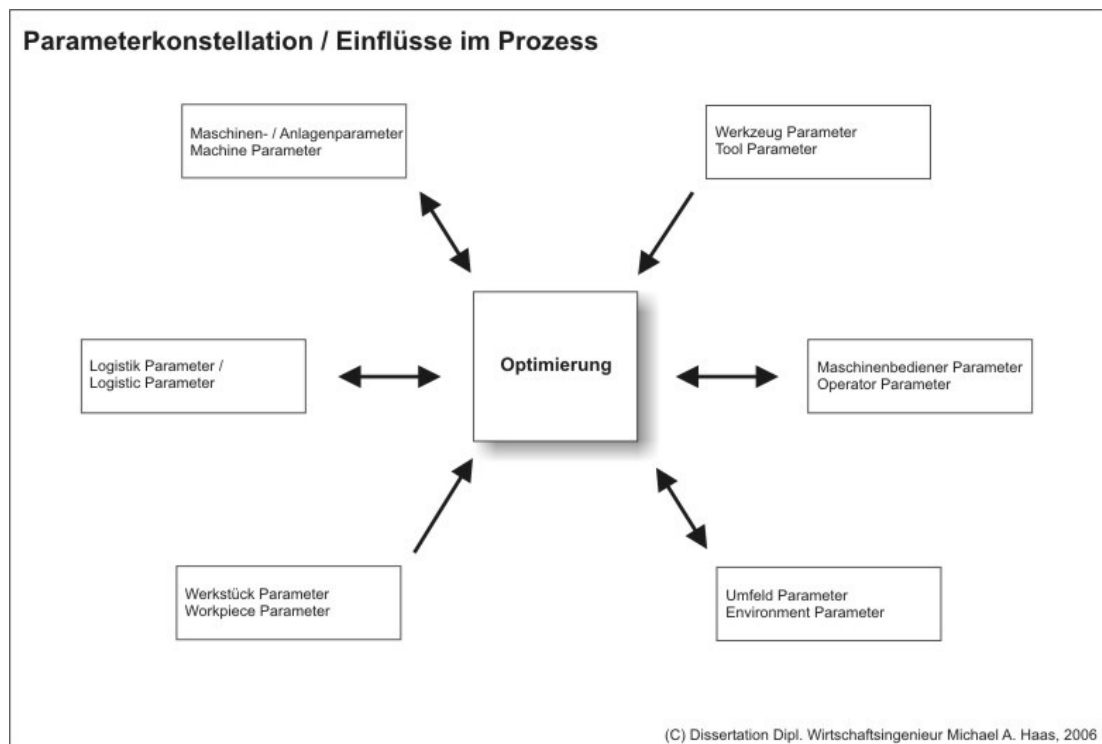


Abb. 36: Einflussparameter im „Zerspanprozess“

Abbildung 36 zeigt die Prozess-Einfluss-Bereiche und visualisiert die duplex/simplex Parameter Wirkungsrichtungen im Zerspanungsprozesses, die es zu optimieren gilt.

## **7.2. Entwicklung des Methodensystems auf Basis des Analysetableaus**

Das unter Punkt 6.5 beschriebene Analysetableau wird nun im Folgenden mittels geeigneter Methoden ausgewertet. Dabei kommen unter Punkt 2.2ff skizzierten innovativen Auswertungsverfahren zum Einsatz. Durch Evaluierung der einzelnen Verfahren ergab sich nachstehende Abbildungen 37 und Abbildung 38 die als Leitfaden für die Entwicklung des Methodensystems definiert wird.

Zu den traditionellen Methoden zählen u.a. Verfahren zur Ermittlung von Mittelwerten, Streuungen, Vergleich von Stichproben mittels T-Test und F-Test zu Irrtumswahrscheinlichkeiten von Hypothesen.

Multivariate Verfahren wie z.B. Regressionsanalyse (Zusammenhangsprüfung, What-if Analysen, Sensitivitätsanalysen), Varianzanalyse, Diskriminanzanalyse, Korrelationsanalyse, Faktoranalyse sowie einfache Clusteranalyse sind ebenfalls traditionellen Methoden zuzurechnen. Letztere kommen mit Bereitstellung leistungsfähiger Computersysteme zunehmend häufiger zur Anwendung.

Diesen Methoden gemeinsam ist der Mangel, dass bei der Betrachtung von Zeitreihen Scheinzusammenhänge für Korrelationen gehalten und diese letztlich zu Kausalitäten befördert wurden. Integrationsrechnungen können diese Schwächen ausschalten und damit die Treffsicherheit von Prognosen deutlich verbessern. Sie sind jedoch allesamt nicht in der Lage, Muster in Datennetzwerken zu erkennen und darauf basierende Regeln abzuleiten.

Bei Analysen ist man nicht an den ursprünglichen detaillierten Daten, sondern nur an Aussagen über die aggregierten (verdichteten) Daten interessiert. In solchen Fällen ist eine kompakte Beschreibung einer gegebenen Datenmenge gesucht, d.h. eine deutlich kleinere Menge von Datensätzen mit Attributwerten auf abstrakterem Niveau. Diese Vorgehensweise wird als Problem der Generalisierung bezeichnet.

Data Mining ist ein Prozess zum Auffinden von unbekannten und nicht-trivialen Strukturen, Zusammenhängen und Trends in Datenbeständen.

Data-Mining-Techniken gehören in den Bereich der induktiven Informationsverarbeitung. Demzufolge definiert sich Data Mining als Prozess, Muster in Daten zu erkennen. Gesucht werden Zusammenhänge und Strukturen in Daten, die zwar vorhanden, aber erst durch neue Ordnungstechniken sichtbar gemacht werden können. Das Ziel der Modellierung ist stets Klärung der Zusammenhänge zwischen mehreren Eingangsgrößen und gewünschten Ausgangsgrößen mit der

Besonderheit, dass wegen ausgeprägter Nichtlinearität der Parameter-Beziehungen analytische Modelle nur zeit- und kostenaufwendig, oder gar nicht aufgebaut werden können. Hier setzt die Möglichkeit der datengetriebenen Modellerzeugung an. Die Daten liegen für Prozessbetrachtungen aber in seltensten Fällen in hinreichender Dichte und Perfektion vor.

Handschriftliche Aufzeichnungen, oder Schichtbücher sind im Allgemeinen nicht ausreichend für eine rechnergestützte Weiterbearbeitung. Üblicherweise zeigt jedes behandelte Beispiel Lücken aller Art im Datenbestand auf. In der Regel werden die Daten dann erzeugt oder nacherfasst, wenn sie gebraucht werden.

Der Begriff Data Mining suggeriert, dass Daten jederzeit in der gewünschten Datenqualität und –kontinuität vorliegen, nach denen nur gesucht werden muss. Dies ist in den seltensten Fällen zutreffend, deshalb gilt es, das gewonnene Prozesswissen strukturiert abzulegen um

- (A) eine systematische Basis für die Mustererkennung zu schaffen und
- (B) Erkenntnisse (Fertigungsprozesswissen) für spätere Nutzenwendungen verfügbar zu machen.

Im relevanten Anwendungsgebiet haben sich die in folgender Tabelle aufgeführten Methoden als relevant herauskristallisiert, weiterführende Literatur zum Themengebiet Data-Mining findet sich in [ROJ96], zur Struktur der unterschiedlichen DM Verfahren [FRE02].

Anwendungsgebiet, Aufgabe	Data Mining Lösungs-Methode
(Data Mining Verfahren zum) Auffinden von Zusammenhängen. (Modellierung & Klassifikation)	Backpropagation (neuronale Netze) SVM
(Data Mining Verfahren zum) Auffinden von Strukturen. (Clustering)	SOM Clustering
(Data Mining Verfahren zum )Auffinden von Regeln. (Regelgenerierungsverfahren)	Assoziationsregeln (apriori) Bayesian Networks Entscheidungsbaum
(Data Mining Verfahren zur) Visualisierung von Datenräumen. (Projektionsverfahren)	SOM Multidimensionale Skalierung

Abb. 37: Übersicht zu Einsatzfelder für Data-Mining Methoden

Im konkreten Anwendungsfall gilt es einen Regelkreis zu generieren, der folgende Phase enthält:

**Phase 1: Prozessdiagnose**

Der bestehende Zerspanungsprozess inklusive aller Geräte und Anlagen (Peripherie) wird hinsichtlich der aktuellen Parameterwerte  $t(0)$  bis  $t(n)$  diagnostiziert.

**Phase 2: Prozessoptimierung**

Zustandsunterschiede zu vorgelagerten Periode  $[t(n-1), t(n-2), t(n-3), \dots t(0)]$  werden aufgedeckt, Verbesserungen und deren Auswirkungen werden ermittelt.

**Phase 3: Prozessprognose**

Die Weiterentwicklung einzelner kritischer Prozessgrößen und Prozesszustände werden prognostiziert.

**Phase 4: Prozessüberwachung und –kontrolle**

Zusammenhänge zwischen einzelnen Parameter, sowie die Sensitivität der Einflüsse werden dargestellt. Parameterzusammenhänge werden analysiert und die dafür generierten Regeln definiert.

Diese Phasen sind allesamt vor dem Hintergrund der Qualitätssicherung zu durchleuchten. Dabei wird eine Auswahl der relevanten DM-Tools getroffen, die anschließend innerhalb der Modellgenerierung verwendet werden.

Darauf basierend ergibt sich folgende Tabelle (vgl. Abbildung 38) zur Auswertung des Parametertableaus, in der der jeweiligen Modellphase das entsprechende Verfahren zugeordnet wird.

### Relevante Data-Mining Methode zur Aufgabe der Problemlösung

Phase / Aufgabenstellung	Beschreibung / Detaillierung	DM Verfahren / Methode
Prozess-diagnose	Geräte- und Anlagendiagnose inklusive der Peripherie (Kühl-mittelanlage, etc.), Prozess-parameter aus allen 6 Bereichen.	Künstliche Neuronale Netzwerke. (KNN)
Prozess-optimierung	Aufdecken von Zustands-unterschieden in Prozessen.	Clustering Verfahren.
	Ermittlung von Verbesserungen und deren Auswirkungen	Varianzanalyse.
Prozess-prognose	Prognose von Prozessgrößen	Zeitreihenanalyse, Regressionsanalyse.
	Prognose von komplexen Prozesszuständen	SOM (Self Organizing Maps).
Prozess-überwachung und -Kontrolle	Sensitivitätsanalyse der Einflussfaktoren	Entscheidungsbäume, KNN.
	Entdecken von Zusammenhängen zwischen Parametern	Entscheidungsbäume, Assoziationsregeln.
	Prozess- Zusammenhangsüberprüfung	Multivariable Regression, KNN.
Qualitätssicherung	Ermittlung von Prozessabweichungen	Entscheidungsbäume.
	Ermittlung und Entdeckung von Ausreißern in Datenbeständen	Abweichungsanalyse, Varianz, Standardabweichung, etc.

(C) Dissertation Dipl. Wirtschaftsingenieur Michael A. Haas, 2006

Abb. 38: Auflistung relevanter DM-Methoden zur Aufgabe und Problemlösung

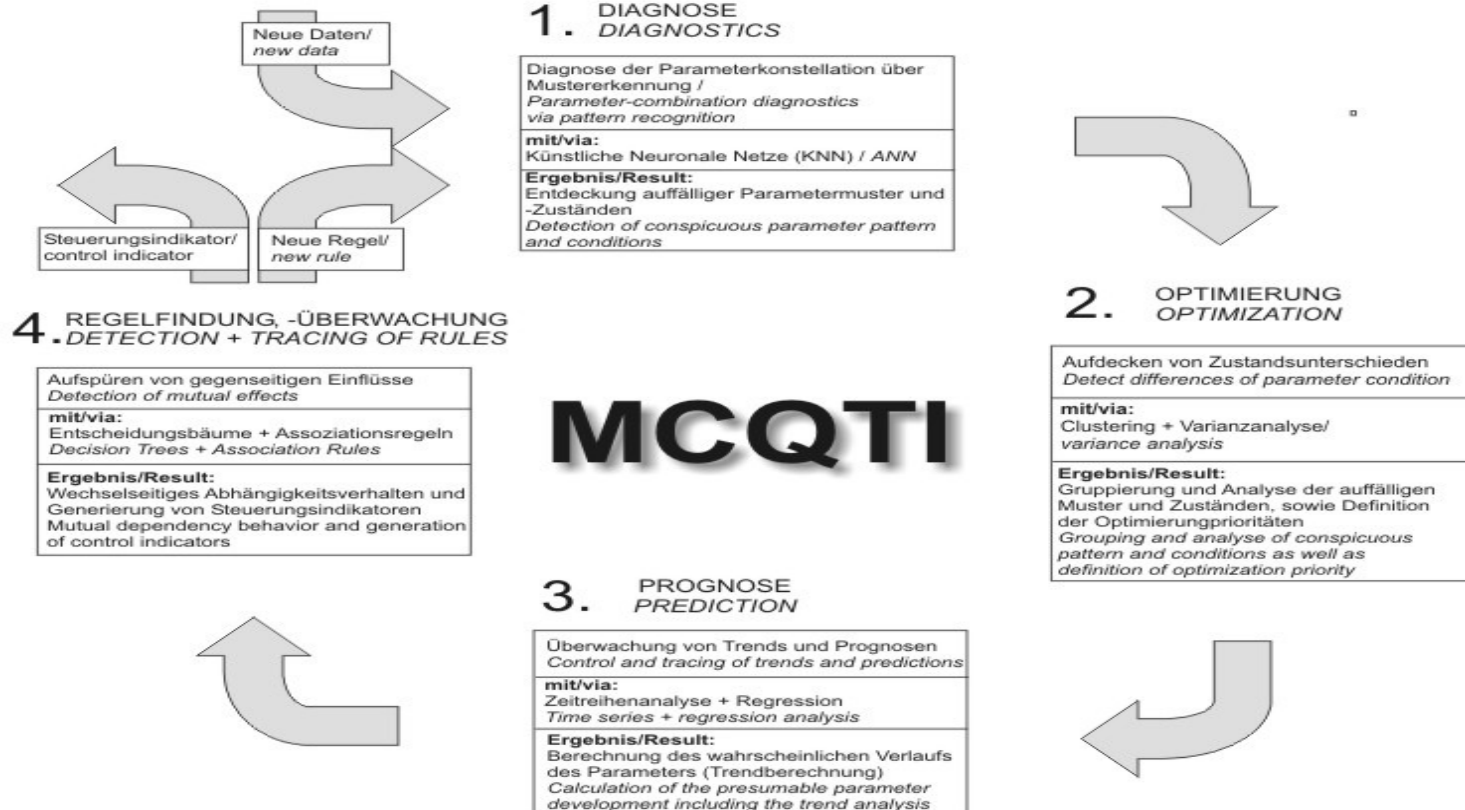
### 7.3. Methode der kontinuierlichen Qualitätsverfolgung und –Verbesserung (MCQTI)

Basierend auf dem zuvor beschriebenen Prozessmodell wird nun im Folgenden ein Qualitätsregelkreis definiert, der – analog der Quality Networking Theorie – Fertigungsprozesse optimiert und somit die unter Punkt 4.0 skizzierte Lücke schließt.

Dieses Methodensystem wird als Methode der kontinuierlichen Qualitätsverfolgung und –verbesserung (**MCQTI**) definiert.

Grundlage dabei stellt ein Qualitätsregelkreis dar, der auf den unter Punkt 7.2 hergeleiteten Methoden aufgebaut wird. Nachstehende Abbildung veranschaulicht diese Methode:

## MCQTI-Regelkreislauf



(C) Dissertation Dipl. Wirtschaftsingenieur Michael A. Haas, 2006

Abb. 39: MCQTI Regelkreismodell



Die Methode der kontinuierlichen Qualitätsverbesserung und –verfolgung (engl. Methode of continious quality tracing and improvment - MCQTI) beginnt mit der Aufnahme eines Datensatzes aus dem Analysetableau (vgl. Punkt 6.5). Anschließend unterteilt sich der Regelkreis in ein vier-Phasen-Modell:

1. Diagnose
2. Optimierung
3. Prognose
4. Regelfindung und Überwachung

Ziel einer beispielhaft gewählten Optimierung ist die Maximierung des Werkzeugstandweges. Gemessen wird der Standweg eines Werkzeuges anhand von Verschleißmarkenbreiten. Ist eine zuvor definierte Verschleißmarkengrenze des Werkzeuges erreicht, der Verschleiß somit zu groß um weiter effizient zerspanen zu können, ist das Standzeitende erreicht. Das Optimierungsproblem wird somit über eine - zu maximierende – Zerspanungsstrecke definiert. Randbedingungen dafür sind die Einhaltung der Zykluszeit, sowie die zu definierenden Qualitätsanforderungen an das Produkt inklusive der Toleranzgrenzen.

In der **ersten Diagnosephase** werden Muster - über Erkennung mit Hilfe eines Künstlichen Neuronalen Netzwerkes mit Vorgänger Muster - verglichen. Ein Muster stellt dabei eine Parameterspalte zum Zeitpunkt  $t(0) \dots t(n)$  dar (vgl. Abb.: 29).

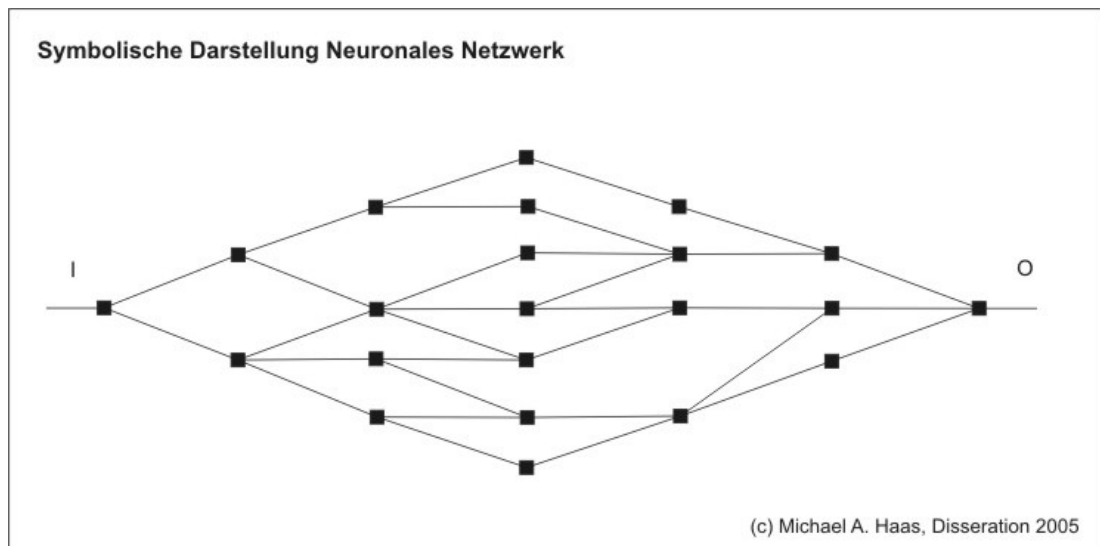


Abb. 40: KNN / MCQTI, Phase 1

Abbildung 40 beschreibt symbolisch ein Neuronales Netzwerk mit einer Eingangsgröße (I) und einer Ausgangsgröße (O). Das dem MCQTI zugrunde liegende KNN besteht aus mehreren Eingangsgrößen und einer Ausgangsgröße (maximaler Standweg). In der ersten Analysephase wird nun die Parameterkonstellation als optimal definiert, die als Ausgangsgröße einen

maximalen Standweg hat. Dies wird unter Zuhilfenahme von Regressionsrechnung prognostiziert. Es wird somit ein erstes Referenz- / Mastermuster erstellt. Sämtliche neuen Parameterkonstellationen (Muster) werden nunmehr mit dem Mastermuster im ersten Schritt verglichen. Kritische Muster, d.h. der Standweg erreicht nicht das Optimum des Masters, werden in einer Wissensdatenbank strukturiert abgelegt.

Enthält ein zu diagnostizierendes Muster kritische Werte, die über eine statistische Mittelwert-, Standardabweichung- und Varianzanalyse detektiert wurden, wird das komplette Muster als kritisch deklariert. Durch Abgleich mit gespeicherten Mustern und deren Resultaten aus der Wissensdatenbank erhält das System die Information, welcher Zielwert für den Standweg des Werkzeuges zu erreichen ist. Dabei gilt die Aussage; je mehr Muster in der Wissensdatenbank gespeichert sind, desto größer ist die Trefferwahrscheinlichkeit des KNNs.

Sowie eine Parameterkonstellation gefunden ist, die einen größeren Standweg für das Werkzeug prognostiziert, wird das bisherige Mastermuster durch diese neue Parameterkonstellation ersetzt. Das Resultat stellt somit die Entdeckung auffälliger Parameterkonstellationen und –zuständen innerhalb eines Datensatzes dar. Im Folgenden wird die Vorgehensweise der ersten Phase beschrieben. Dabei werden beispielhaft vier Parameter (Schnittgeschwindigkeit, Vorschubrate, Kühlmitteldruck, Maschinenvibration) analysiert und darauf basierende Musterwahrscheinlichkeiten erstellt. Nachstehende Abbildung zeigt dabei die Einflussgrößen auf die Schnittgeschwindigkeit.

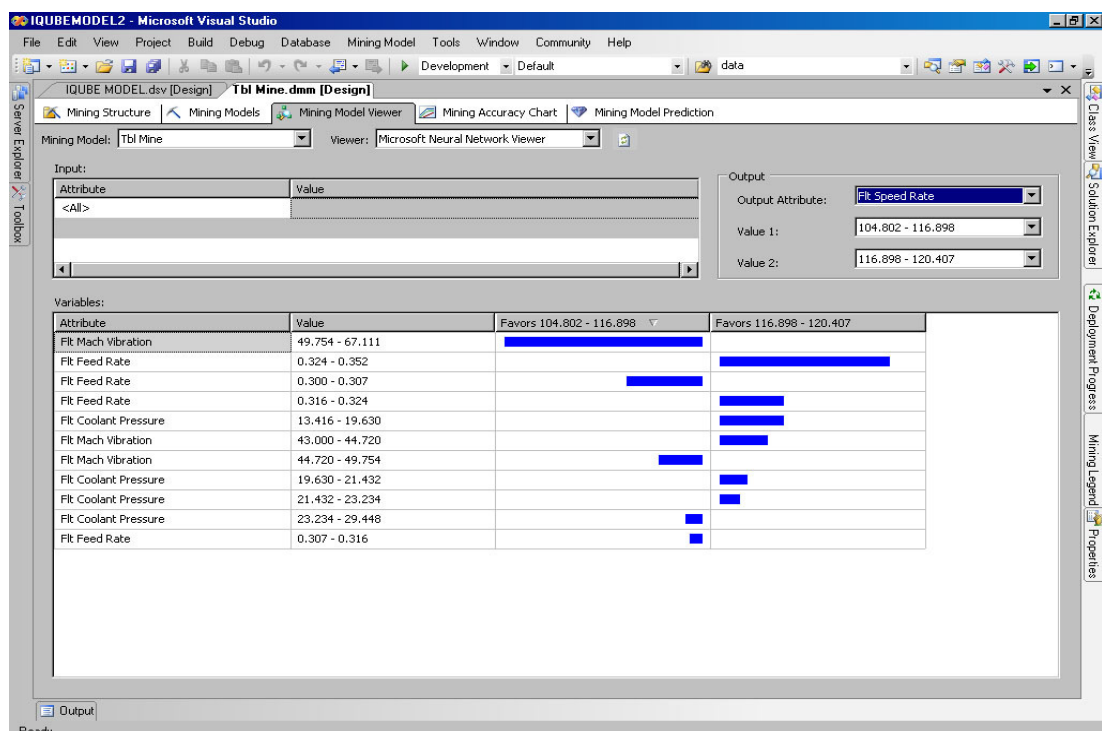


Abb. 41: Schnittgeschwindigkeit -Abhängigkeitsdiagramm

Die Parameterspanne ergibt sich aus den unterschiedlichen Prozessdurchläufen. Zu erkennen ist dabei, dass unterschiedliche Parameter unterschiedliche Wertebereiche der Schnittgeschwindigkeit unterstützen. Konkret zeigt dies das Beispiel der Vorschubrate. Im vorliegenden Fall, bei einer Vorschubrate zwischen 0,324 mm und 0,352 mm wird ein Schnittgeschwindigkeitsbereich von 116,898 bis 120,407 m/min unterstützt. Fällt die Vorschubrate unter einen Wert von 0,307 mm (Bereich 0,300 mm bis 0,307 mm), wird ein Schnittgeschwindigkeits-Bereich von 104,802 bis 116,898 m/min unterstützt. Analog verhält es sich mit der Maschinenvibration und dem Kühlmitteldruck.

In der folgenden Abbildung wird eine diesbezügliche Regressionsgerade berechnet. Dabei ist erkennbar – analog der oben getroffenen Aussage – dass Werte sowohl oberhalb, als auch unterhalb der Gerade liegen.

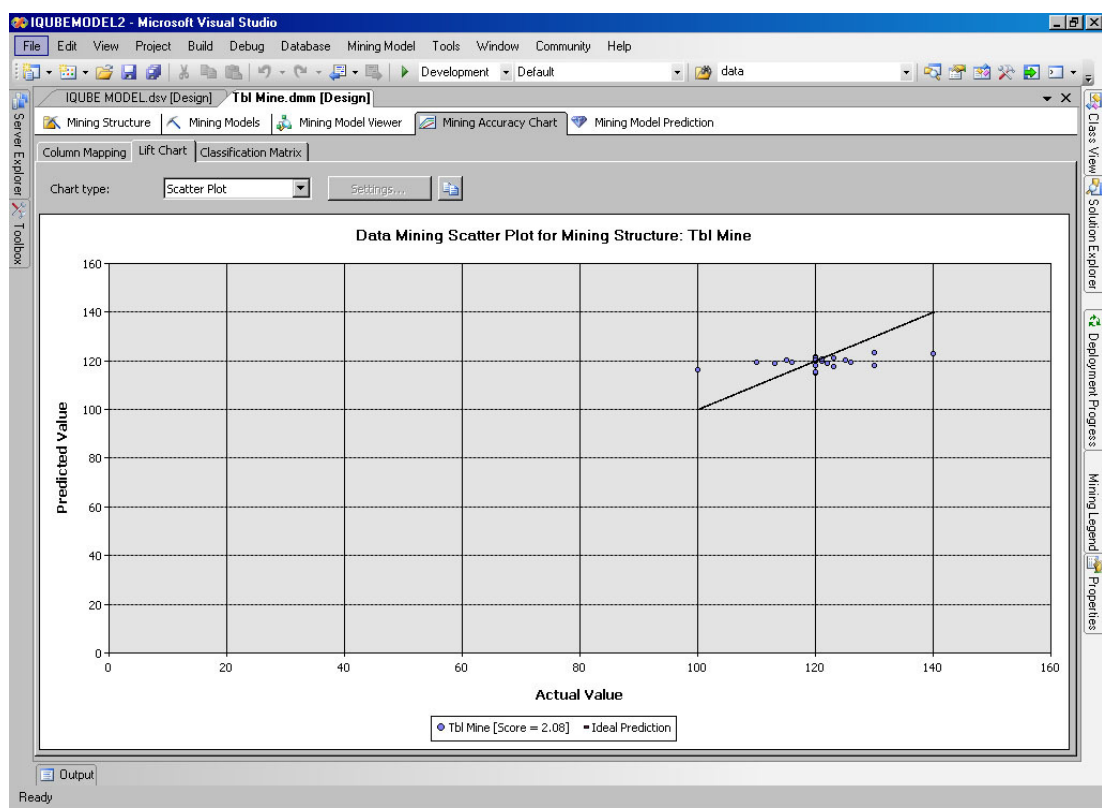


Abb. 42: Beispielhafte Regressionsgerade (Schnittgeschwindigkeit / Vorschubrate)

Neben der Schnittgeschwindigkeit wird auch der Vorschub als Parameter untersucht, dabei ergab sich exemplarisch ein Diagramm, welches in Abbildung 43 ersichtlich ist.

Der Grenzvorschub wurde hierbei mit dem Wert  $f = 0,307$  mm definiert. Auch hierbei sind unterschiedliche Einflüsse für unterschiedliche Vorschubraten zu erkennen. So wurde beispielsweise die Analyse der Schnittgeschwindigkeit im Vorschubdiagramm

durch die umgekehrt Analyse (Vorschub im Schnittgeschwindigkeitsdiagramm) bestätigt.

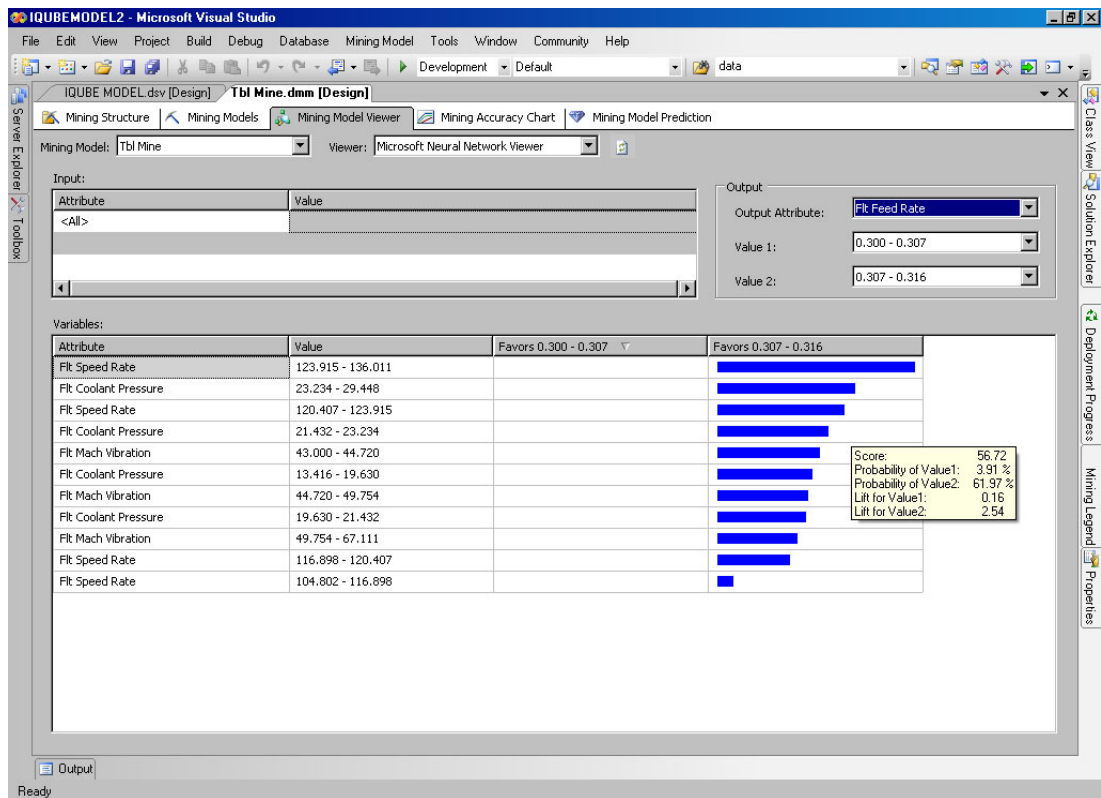


Abb. 43: Beispielhaftes Abhängigkeitsdiagramm zur Vorschubsgeschwindigkeit

Ersichtlich ist darüber hinaus, dass durch das Netz Gewichtungen vorgenommen wurden. Dies bedeutet, dass der Standardwert (1) angepasst wurde. Das Netz hat somit selbstständig die Gewichtung verändert, es hat gelernt. Zu erkennen ist dies durch den Liftfaktor, welcher die Abhängigkeiten der Parameter untereinander durch einen Faktor (Liftfaktor) ausdrücken.

Dabei wird die Eintrittswahrscheinlichkeit für den Wertebereich 2 (0,307 bis 0,316) höher prognostiziert als Wertebereich 1. Entsprechend verhält sich auch die Gewichtung der jeweiligen Bereiche. Durch die Berechnung einer Gesamtpunktzahl (score) wird es dem System ermöglicht zu einem späteren Zeitpunkt diese Prognose wieder zu finden, ohne den gesamten Datenbestand erneut zu berechnen. Folgenden zwei Abbildungen vergleichen Parametermuster anhand ihrer Liftfaktoren.

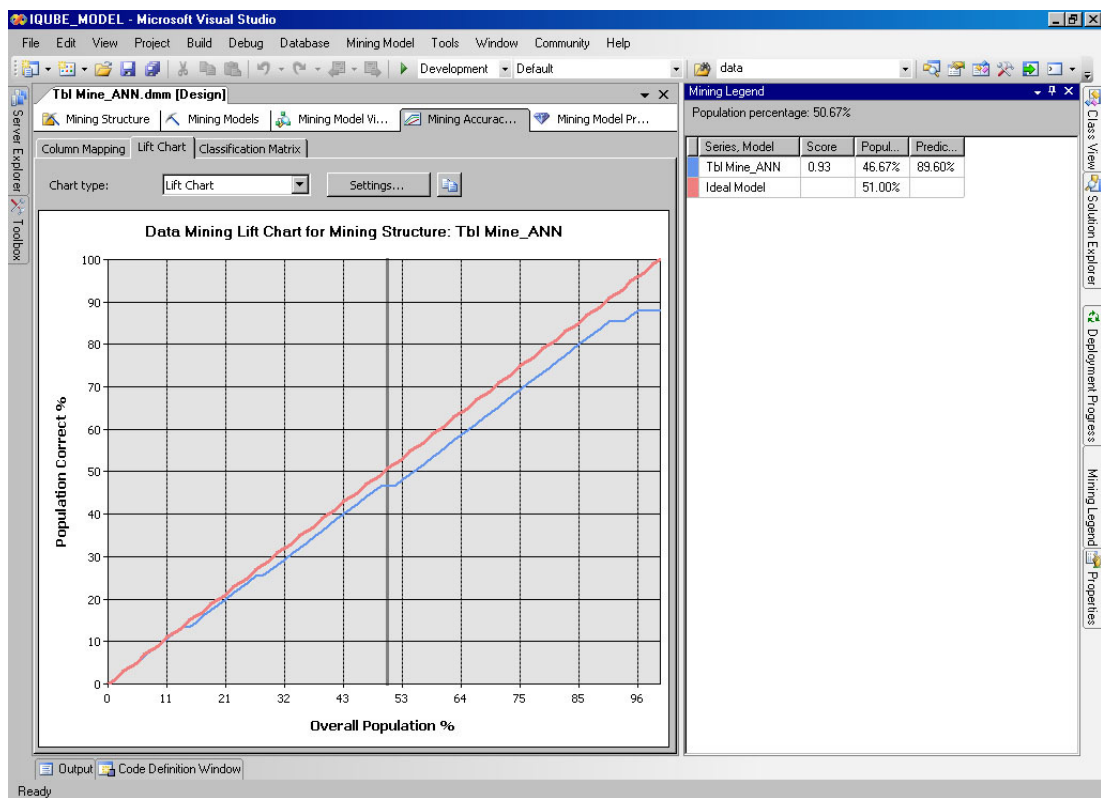


Abb. 44: Beispielhafter Liftfaktor für Parameternmuster 1

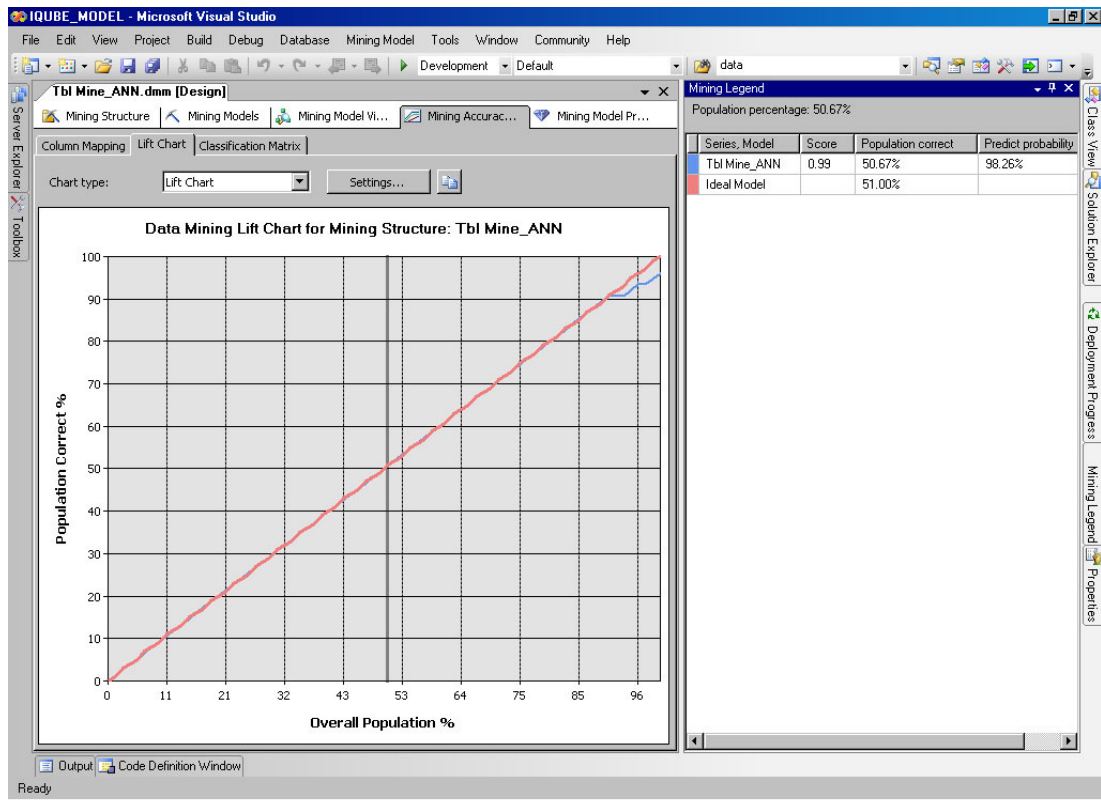


Abb. 45: Beispielhafter Liftfaktor für Parameternmuster 2

Dabei werden eingehende Parametermuster mit dem bisherigen Mastermuster verglichen. Anhand der Scorewerte ist ersichtlich, dass keines der beiden gefundenen Muster das Bisherige bzgl. des Werkzeugstandweges übertrifft. Beide werden somit als Suboptimas gespeichert. Muster zwei (vgl. Abbildung 45) erreicht dabei jedoch einen höheren Wert als Muster eins (vgl. Abbildung 44). Würde Muster zwei einen höheren Scorewert als 1 erzielen, ergo die Prozentabweichung einen positiven Wert ergeben, würde das neu gefundene Muster als neues Referenzmuster definiert werden.

Muster mit den höchsten Scorewerten werden als temporäres Suboptimum angesehen und als Vergleichsmuster zur Standwegoptimierung herangezogen. Analog zur Darstellung der Schnittgeschwindigkeit ergibt sich auch für den Vorschub das folgende Scatter Plot.

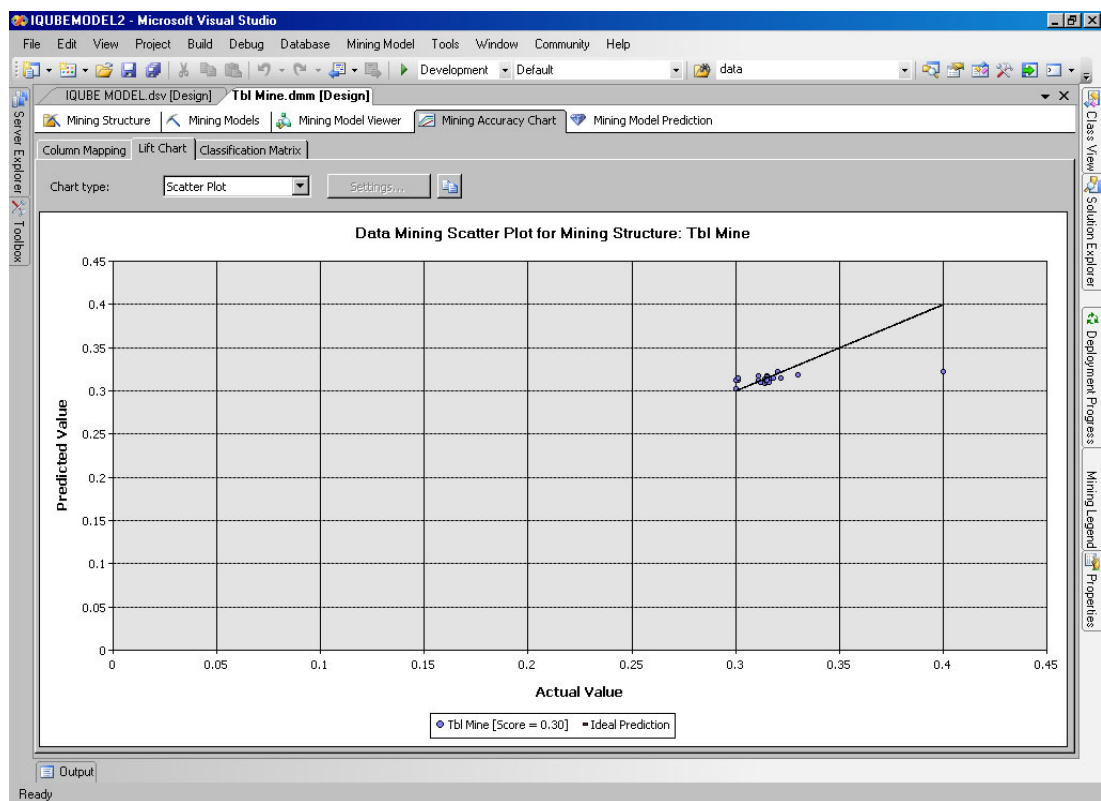


Abb. 46: Beispielhafte Regressionsgerade Vorschubgeschwindigkeit

Bei der Betrachtung weiterer Parameter gelangt man zu ähnlichen Aussagen. Die folgenden Abbildungen zeigen dabei die entsprechenden Graphen, sowie ihre dazu gehörenden Regressionsgeraden:

## Kühlmitteldruck

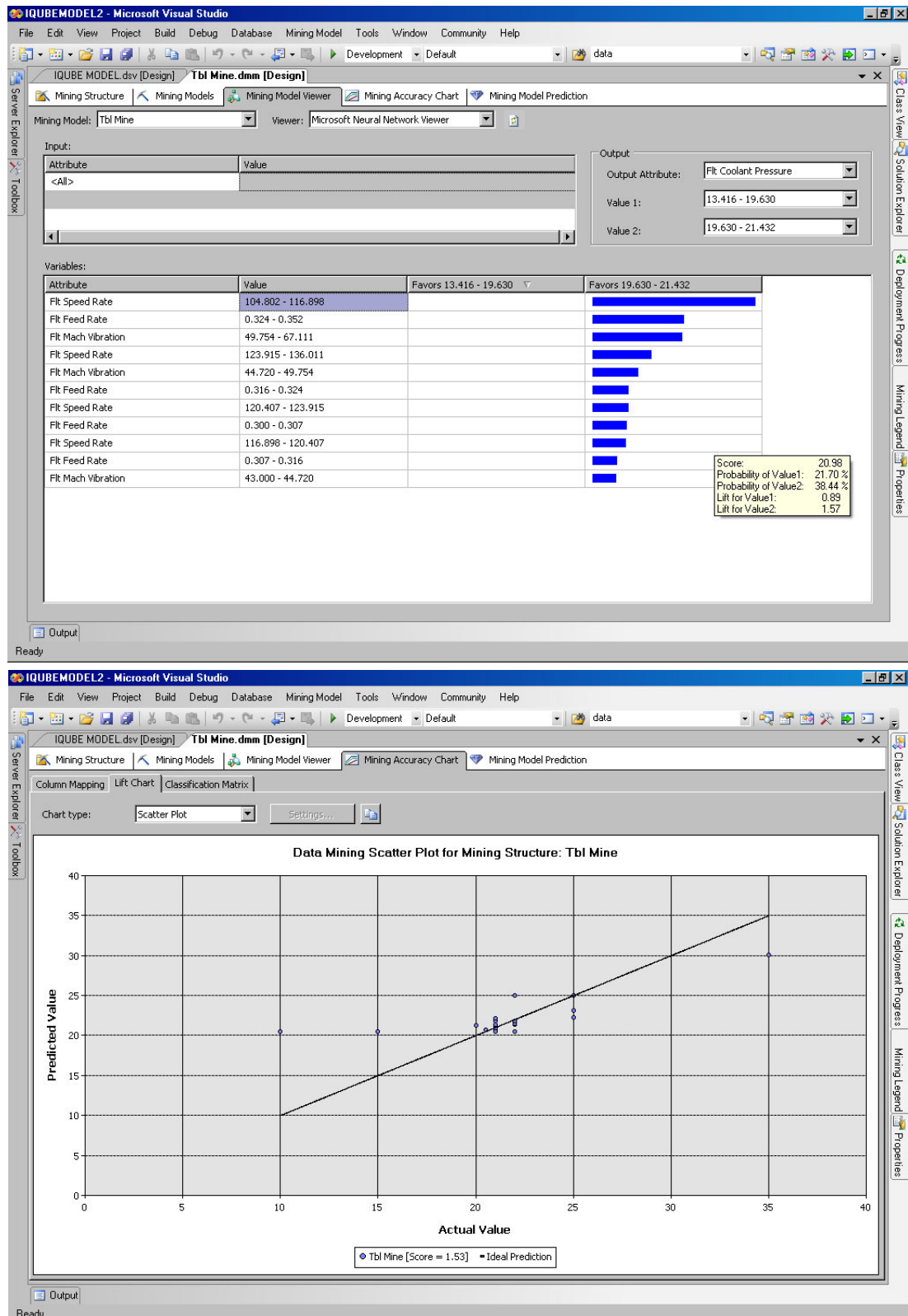


Abb. 47: Kühlmitteldruck Diagramme



## Vibration

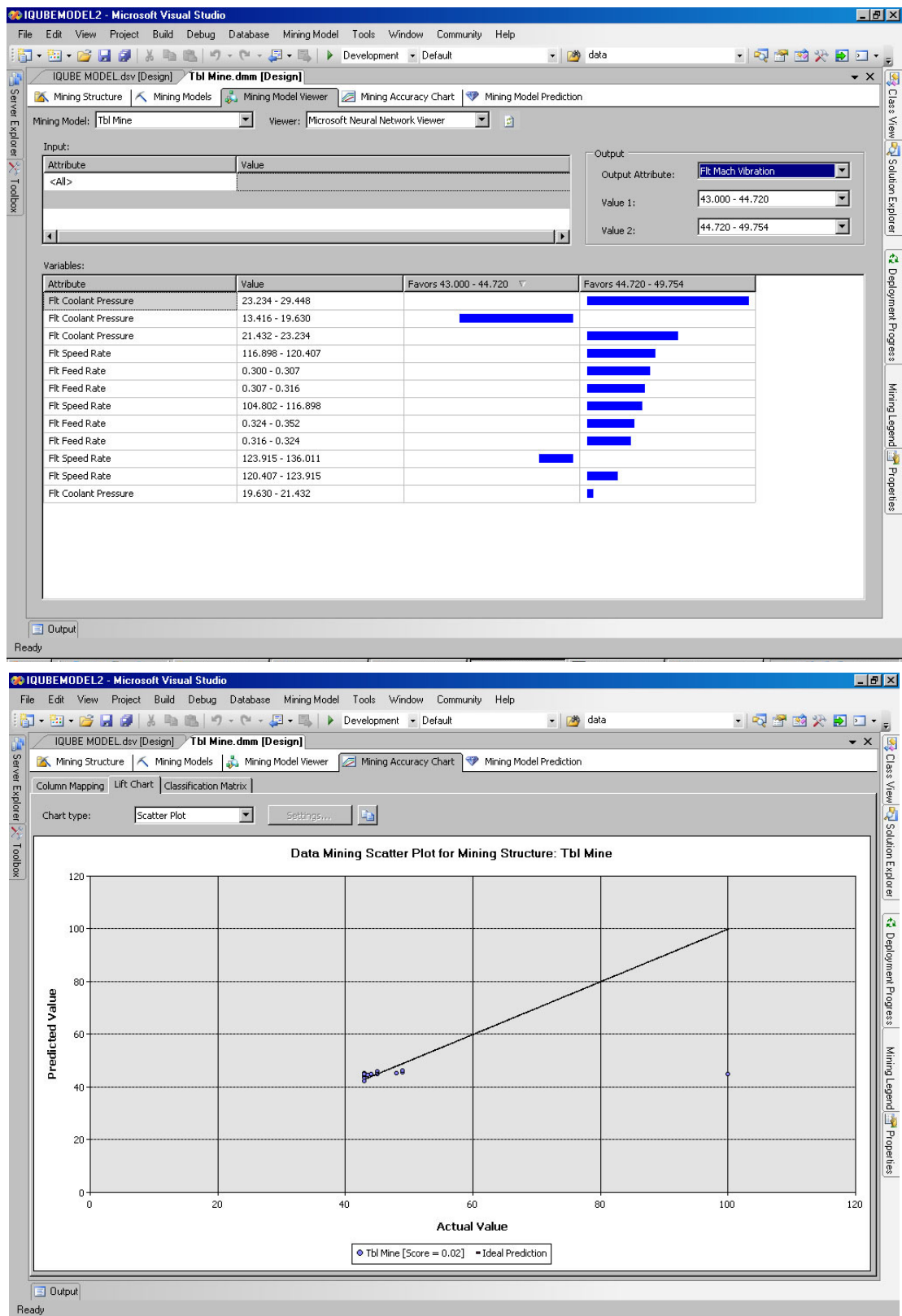


Abb. 48: Maschinenvibration Diagramme



Nach Analyse der vier exemplarischen Einzelfaktoren und deren Verhalten wird nunmehr das gesamte Parametermuster mit seinen Einzelparametern bezüglich des Standwegoptimums herangezogen.

Dabei addieren sich die einzelnen Scorewerte zu einem Gesamtscorewert des Musters anhand folgender Berechnungsvorschrift:

$$S(ges) = \sum_{i=1}^n S(n)$$

Wobei n die Anzahl der relevanten Parameter innerhalb des Musters darstellt. Diese Gesamtoptimas werden - analog dem zuvor beschriebenen Verfahren anhand des Liftfactors – analysiert und ergeben ggf. ein neues Gesamtoptima, das dann als Referenzmuster abgelegt wird.

Folgende Abbildung 49 zeigt das Vergleichsoptimum mit einem Standweg von 60 m im Verhältnis zum errechneten Stand von 58,3141 m.

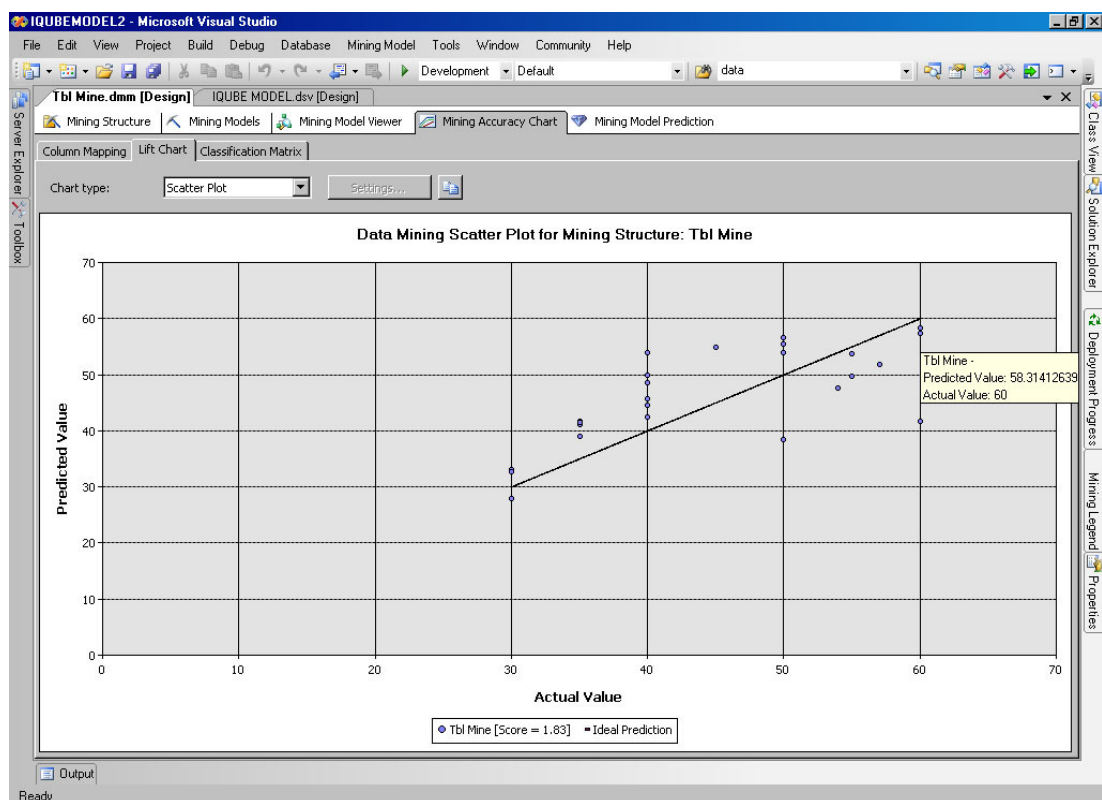


Abb. 49: Gesamtanalyse des Parametermusters

Es ergibt sich somit eine Differenz / Abweichung von 2,8098%, d.h. das analysierte Muster stellt kein neues Optimum dar. Die nicht optimalen Parameter innerhalb des Musters sollten über Steuerungsgrößen modifiziert werden, um ggf. im nächsten

Prozessdurchlauf ein höheres Qualitätsniveau zu erreichen. Nach dem strukturierten Ablegen des Musters werden somit die Parameter des erkannten Musters in die zweite Phase übergeben.

In **Phase zwei** werden nunmehr die kritischen Konstellationen über Gruppierungsverfahren (Clustering) Parameterklassen aus der Wissensdatenbank zugeordnet. Eine erste Abhängigkeitsanalyse über den Korrelationskoeffizienten wird zu Beginn der Phase zwei erstellt. Nachstehende Tabellen veranschaulichen exemplarisch ein Ergebnis dieses Vorgangs:

Lfd. #	Parameter	t(0)	t(1)	t(2)	t(3)	t(4)	t(5)	t(6)	t(7)	t(8)
1	tool life	60,000	58,400	56,200	42,900	55,000	58,100	59,900	50,200	56,800
2	speed rate	118,400	119,600	121,000	120,500	118,100	116,900	117,400	120,300	116,800
3	cool pres	19,900	20,100	19,900	8,000	20,200	19,900	21,300	21,100	20,300
4	mach vib	41,200	41,300	41,200	79,800	41,300	41,500	41,200	41,300	41,100
5	item id	2477	2477	2477	2477	2477	2477	2477	2477	2477
6	feed rate	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
7	sp runout	0,003	0,003	0,010	0,009	0,009	0,006	0,006	0,006	0,006
8	vclass	3,400	3,400	3,600	15,600	3,550	3,300	3,660	4,230	3,500
9	...									

Abb. 50: Daten zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten

Eine Tabelle dieses Typs stellt dabei einen Extrakt aus dem Analysetableau (vgl. Abb. 29) dar. Dabei werden die Parameterkonstellationen, beginnend von t(0) nach t(n), aufgenommen. Zu jedem Zeitpunkt t(x) ergibt sich somit ein neues Parameternuster. Auf dieser Basis werden nunmehr die Korrelationskoeffizienten ermittelt und diese dann mit den bereits gespeicherten Werten in der Wissensdatenbank auf Plausibilität geprüft. Dabei ist eine Abweichung von +/- 2% (ermittelt über empirische Versuche) zulässig.

Lfd. #	Parameter	arith. Mittelwert	Median	emp. StABW	Varianz	Korrelation tool life	Korrelation speed rate	Korrelation cool pres	Korrelation mach vib
1	tool life	55,27778	56,80000	5,51833	30,45194				
2	speed rate	118,77778	118,40000	1,61383	2,60444	-0,5713			
3	cool pres	18,96667	20,10000	4,14518	17,18250	0,8133	-0,4004		
4	mach vib	45,54444	41,30000	12,84631	165,02778	-0,8416	0,3996	-0,9923	
5	item id	2477	2477	0,00000	0,00000				
6	feed rate	0,30000	0,30000	0,00000	0,00000				
7	sp runout	0,00643	0,00600	0,00252	0,00001	-0,5219	0,3256	-0,3799	0,3812
8	vclass	4,91556	3,55000	4,01570	16,12585	-0,8687	0,4291	-0,9838	0,9976
9	...								

Abb. 51: Visualisierung der Korrelationskoeffizienten

Die aus Tabelle 51 erkennbare Korrelationsmatrix stellt eine Grundlage der Optimierung dar. Eine weitere Grundlage wird über die folgend erläuterte

Clusteranalyse geschaffen. Dabei werden die als kritisch betrachteten Parameter des Parameternusters analysiert und anschließend, unter Zuhilfenahme der Varianzanalyse, angepasst.

Die Clusteranalyse gruppiert die Werte der kritischen Parameter – sie fasst sie zu Cluster zusammen. Dabei werden statistische Häufungen und Wahrscheinlichkeiten ermittelt. Abbildung 52 veranschaulicht diesen Schritt:

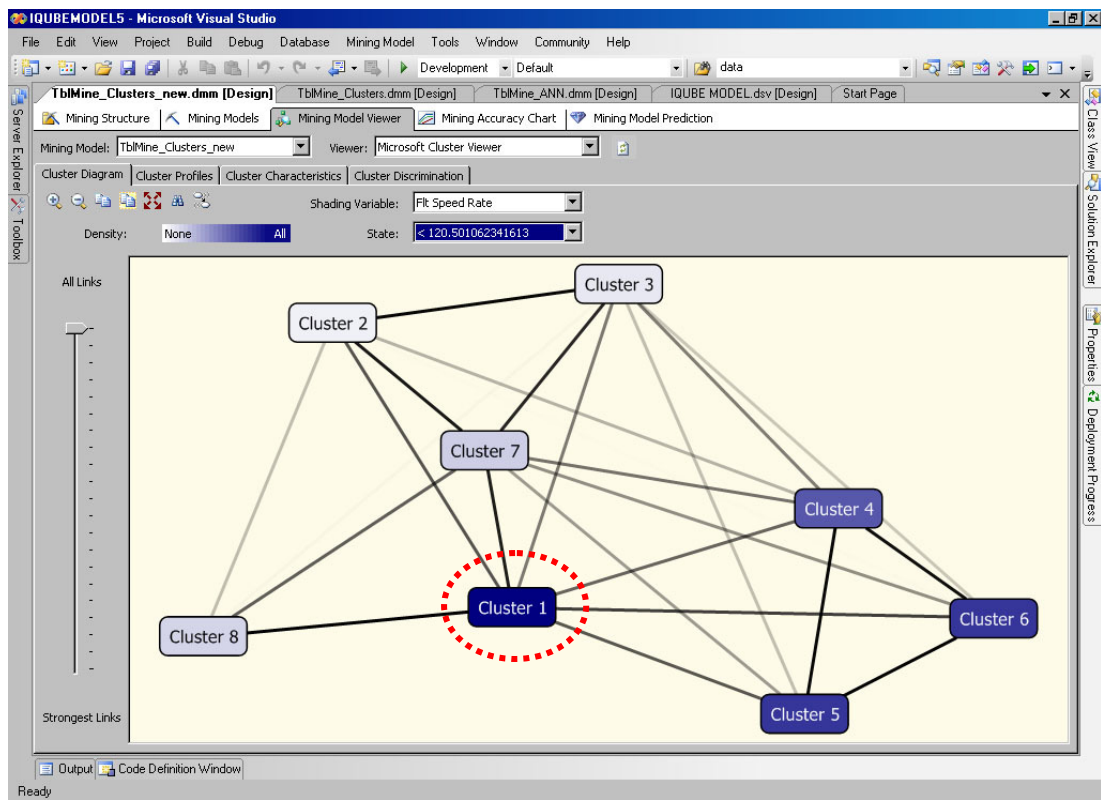


Abb. 52: Clusteranalyse für Schnittgeschwindigkeit kleiner 120 m/min.

Zu erkennen ist, dass die Cluster 1 die größten Wertedichten besitzt. D.h. die Parameternuster, die in Cluster 1 entfallen sind, am häufigsten. Umgekehrt sind die Parameter aus Cluster 2 am seltensten anzutreffen. Dies gilt für Schnittgeschwindigkeitswerte kleiner 120 m/min. Für größere Schnittgeschwindigkeiten ergibt sich analog die folgende Abbildung 53:

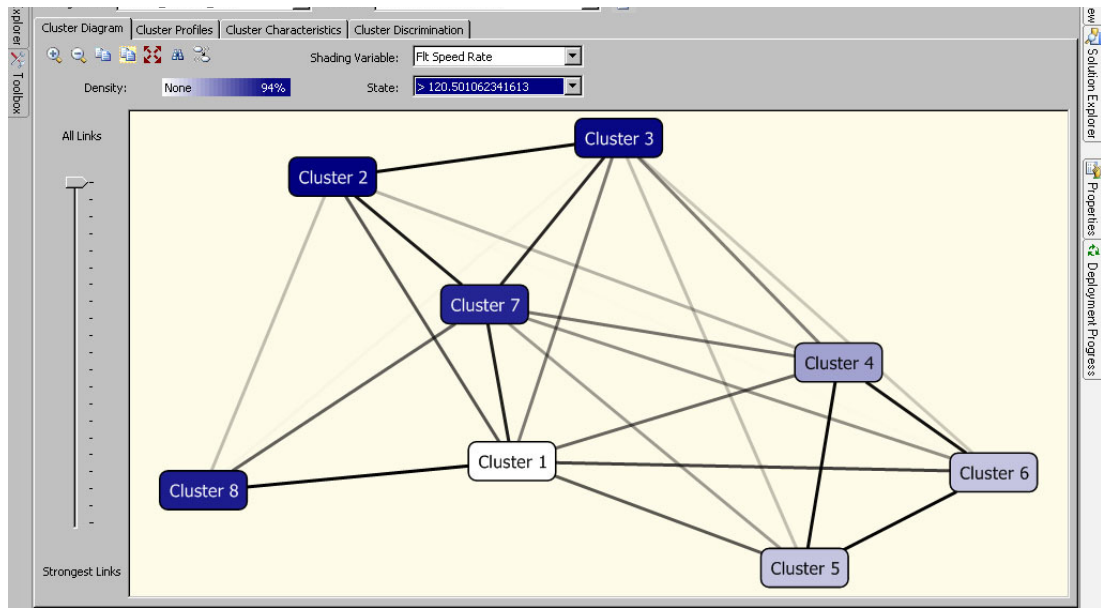


Abb. 53: Clusteranalyse für Schnittgeschwindigkeit größer 120 m/min.

Die Stärke der Abhängigkeiten der einzelnen Cluster untereinander werden durch die Linienfärbung symbolisiert. Dabei ist zu erkennen, dass Cluster 1 mit den Clustern 7 und 8 in besonders starker Abhängigkeit steht. Dies bedeutet, dass die dazu gehörenden Parametermuster dieser Klassen eine ähnliche Struktur aufweisen. Die Verbindung der Cluster 5 und 3 hingegen weisen eine schwache Beziehung auf. Die entsprechenden Parametermuster dieser beiden Klassen weisen eine geringe Strukturtreue auf. Betrachtet man im Folgenden die entsprechenden Klassen dezidiert, so erhält man die nachstehenden Grafiken.

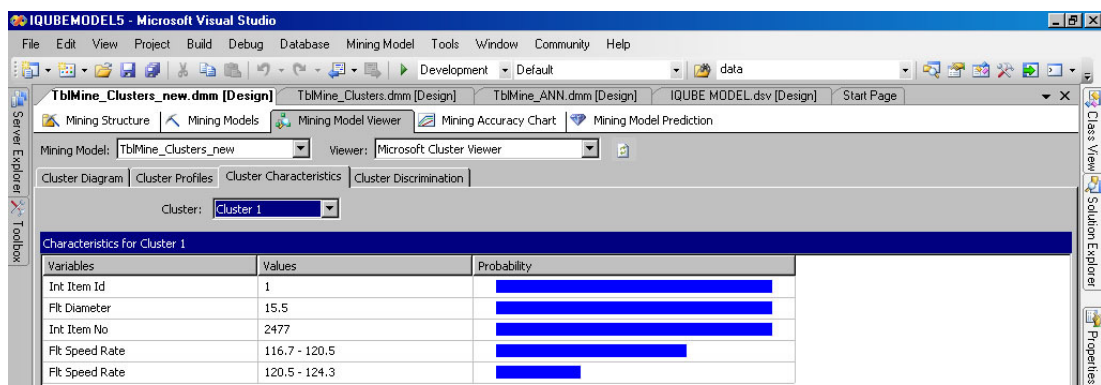


Abb. 54: Cluster 1, Klassen und Wahrscheinlichkeiten

Wie aus Abbildung 54 ersichtlich, werden Schnittwerte aus den Bereichen 116,7 U/min bis 120,5 U/min – sowie 120,5 U/min bis 124,3 U/min in diesem Cluster zusammengefasst. Alle anderen Parametermuster, deren Schnittgeschwindigkeit nicht in einer dieser beiden Gruppen liegt, sind nicht in Cluster 1 erfasst. Die

Wahrscheinlichkeit, dass ein Parameternmuster in diese Gruppe fällt, ist für Werte zwischen 116,7 U/min bis 120,5 U/min am größten. Bei Betrachtung des Clusters 2 ergeben sich folgende Aussagen:

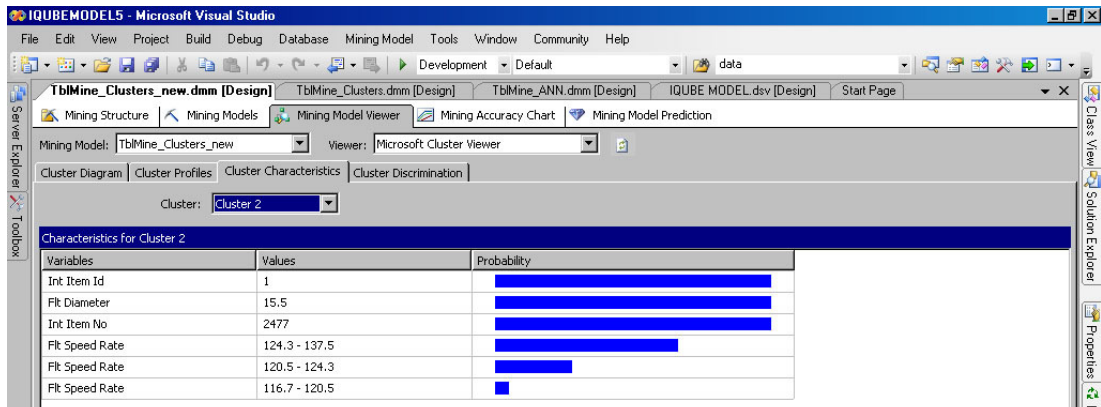


Abb. 55: Cluster 2, Klassen und Wahrscheinlichkeiten

Im Unterschied zu Cluster 1 ist zu erkennen, dass Parameternmuster mit den Werten 124,3 bis 137,5 sich am wahrscheinlichsten in diesem Cluster befinden. Hingegen ist die Wahrscheinlichkeit, Parameternmuster mit dem Wertebereich 116,7 bis 120,5 in diesem Cluster anzutreffen äußerst gering. Eine analoge Aussage lässt sich auch treffen bei Betrachtung der Abbildung 56.

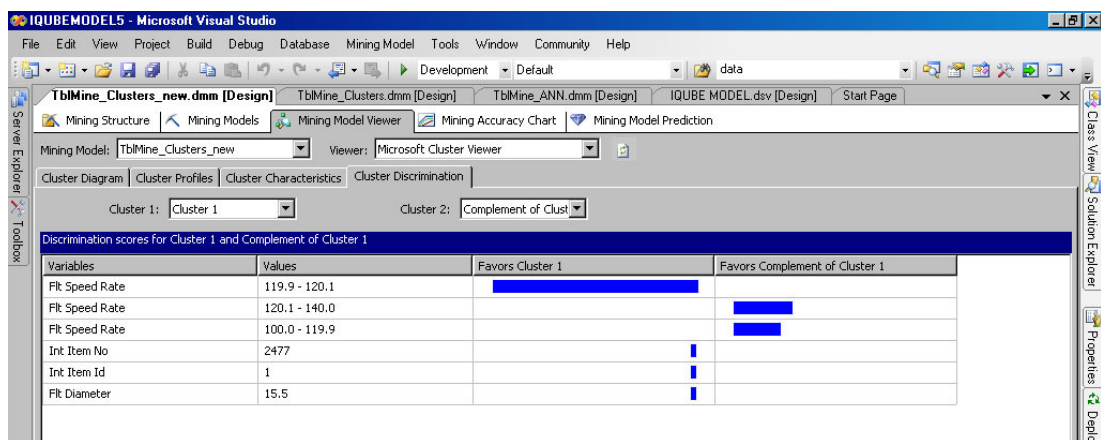


Abb. 56: Model Betrachtung Cluster 1

Parameter des Wertebereiches 119,9 bis 120,1 unterstützen die Gruppenzugehörigkeit zu Cluster 1, Parameter der anderen Wertebereichen unterstützen andere Cluster.

Grundsätzlich werden bei der Clusteranalyse die Parameternmuster zusammengefasst, die die größten Gemeinsamkeiten besitzen. Cluster mit geringer Parameterübereinstimmung werden somit in separaten Clustern zusammengefasst.

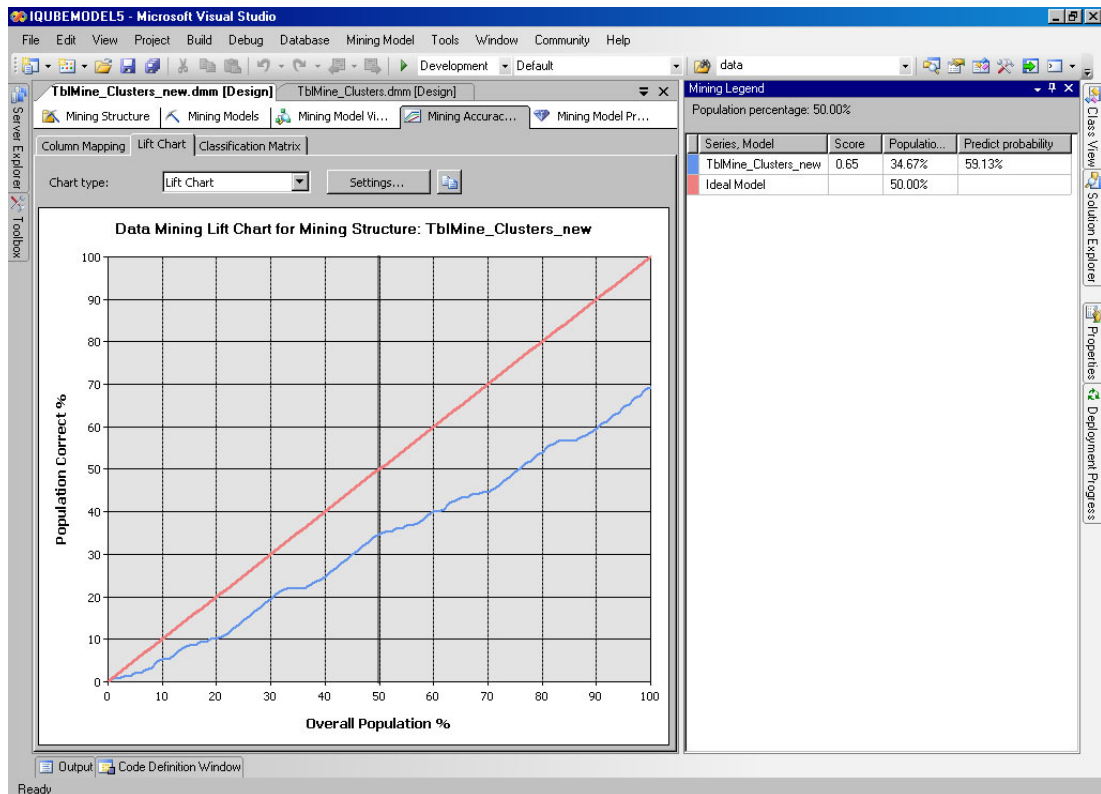


Abb. 57: Liftchart für Clusteranalyse – Schnittgeschwindigkeit

Das dazu gehörende Liftchart beschreibt somit die Abhängigkeit der Werte eines Paramettermusters im Verhältnis zum derzeitigen Optimum. Dabei ist exemplarisch aus Abbildung 57 ersichtlich, dass das vorliegende Muster einen geringen Liftwert besitzt. Dies bedeutet, dass schwache Abhängigkeiten vorliegen. Es könnte sich bei dem untersuchten Cluster um einen Fehler handeln, der nach erfolgter Varianzanalyse durch einen geeigneten Steuerungsparameter zu korrigieren wäre. Basierend auf der Clusteranalyse werden Prioritätsmerkmale in Listen erstellt. Diese sagen aus, welche Parameter zuerst zu optimieren sind. Mit Hilfe von Varianzanalysen werden Optimierungen und deren Auswirkungen überprüft. Dabei werden die zu optimierenden Parametern zu Steuerungsgrößen und mit einer regelbaren Differenz belegt.

Das Ergebnis der zweiten Phase ist somit, dass die Steuerungsindikatoren innerhalb des Paramettermusters detektiert und Steuerungsgrößen über die größte Varianz bei Parametern definiert wurden. Deren weiteren Verlauf gilt es nun in der **Phase drei** zu prognostizieren und zu überprüfen, sowie anhand von Prognosewerten zu modifizieren.

Dieser Regelparameter kann zwischen +/- 1% bis +/- 10% variieren, abhängig von Material und Applikation (Basis Erfahrungswerte).

Konkret werden die zu untersuchenden Steuerungsgrößen mittels Zeitreihenanalyse und Regressionsrechnung analysiert sowie Prognosen und Parameterrends aufgestellt. Dadurch werden wahrscheinliche Verläufe der Parameter prognostiziert. Veranschaulicht wird dies in folgender Abbildung 58. Der untersuchte Parameter ist die Schnittgeschwindigkeit.

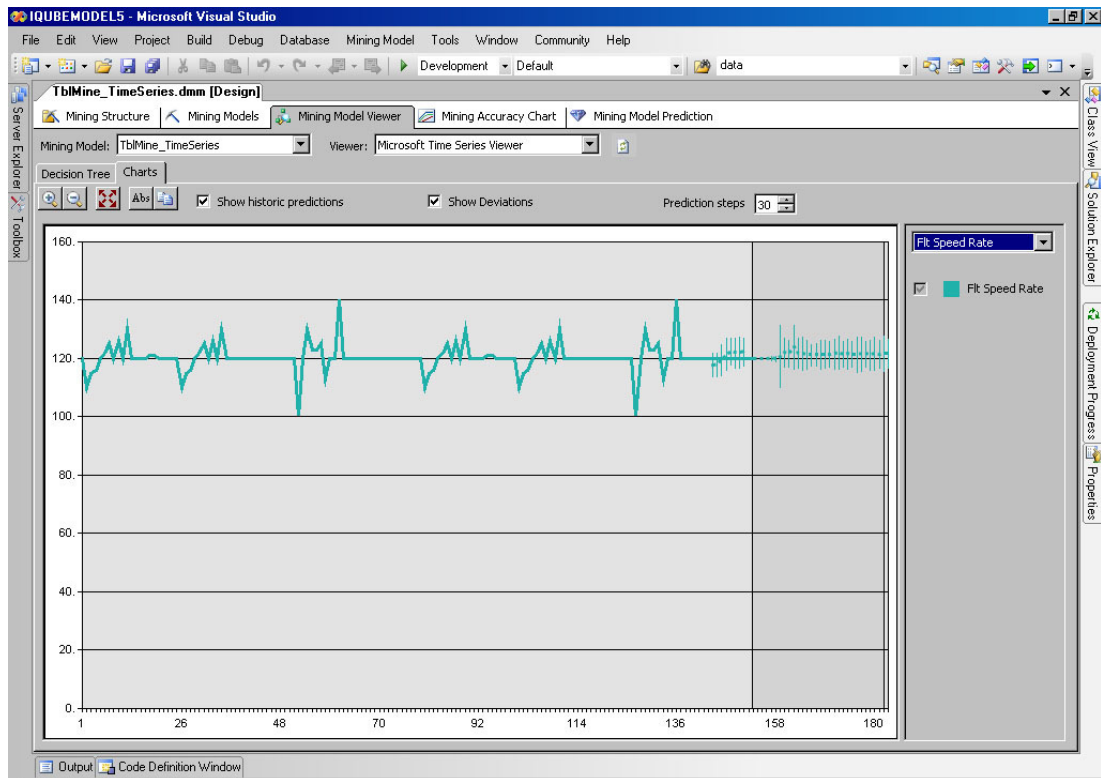


Abb. 58: Zeitreihenanalyse Schnittgeschwindigkeit

Dabei werden die bisherigen Parametermuster aus der Knowledge Database mit ihren Schnittgeschwindigkeiten in vergleichbaren Materialien, Werkzeugen, Maschinen herangezogen und analysiert. Diese Werte werden mit den bisherigen Werten des Prozesses ergänzt um Prognosen über die zukünftige Entwicklung des Parameters zu fällen. Dieser Trend ist im grau hinterlegten Feld – grafisch - zu erkennen.

Nach dieser Prognose wird dann der, in Phase zwei definierte, Regelindikator mit dem Regelbereich versehen. Dieser ist, neben den oben erwähnten Abhängigkeiten von Material und Applikation, auch von der Stärke des prognostizierten Trends abhängig.

Nachdem der ausgewählte Parameter modifiziert wurde, wird eine Trendanalyse für den Zielparameter erstellt. Diese ist beispielhaft in der folgenden Abbildung 59 dargestellt.



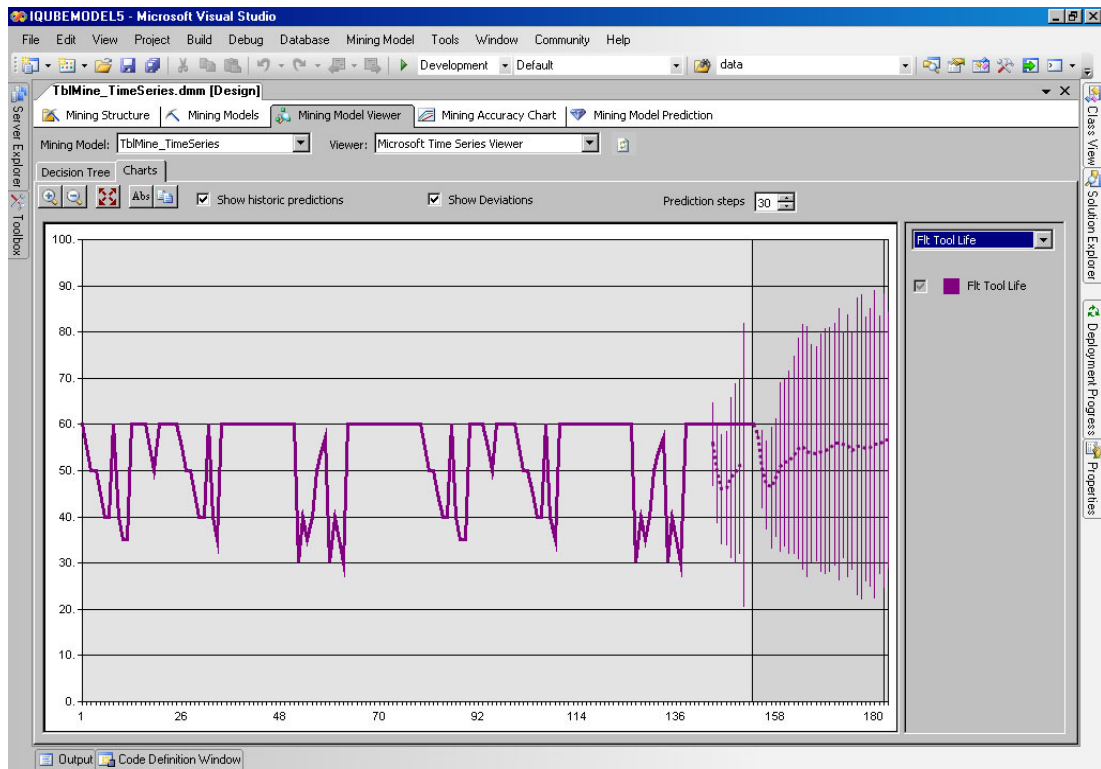


Abb. 59: Zeitreihenanalyse der Zielfunktion

Aus Abbildung 59 ist ersichtlich, dass durch die definierte Modifikation eines Parameters der Trendverlauf der nachfolgenden Bearbeitungsprozesse bezogen auf den zu optimierenden Parameter (Standweg des Wertzeuges), sich dem temporären Optimum (60m) annähert.

Nach Phase drei ist somit der Regelindikator definiert und mit einem Regelwert versehen. Es gilt nunmehr, durch Kontrolle des Gesamtprozesses, die wechselseitigen Abhängigkeiten (Regeln) zu analysieren und somit das modifizierte Parametermuster insgesamt strukturiert (über Regeln) der Wissensdatenbank zu übergeben.

**Phase vier** dient somit zur Analyse der gegenseitigen Beeinflussung der Parameter untereinander. Dies wird realisiert auf Basis der Entscheidungsbaumtheorie. Resultat sind Verhaltensregeln der Parameter mit deren Gewichtung und Abhängigkeiten zueinander. Nachstehende Abbildung verdeutlicht dabei die Regelfindung.



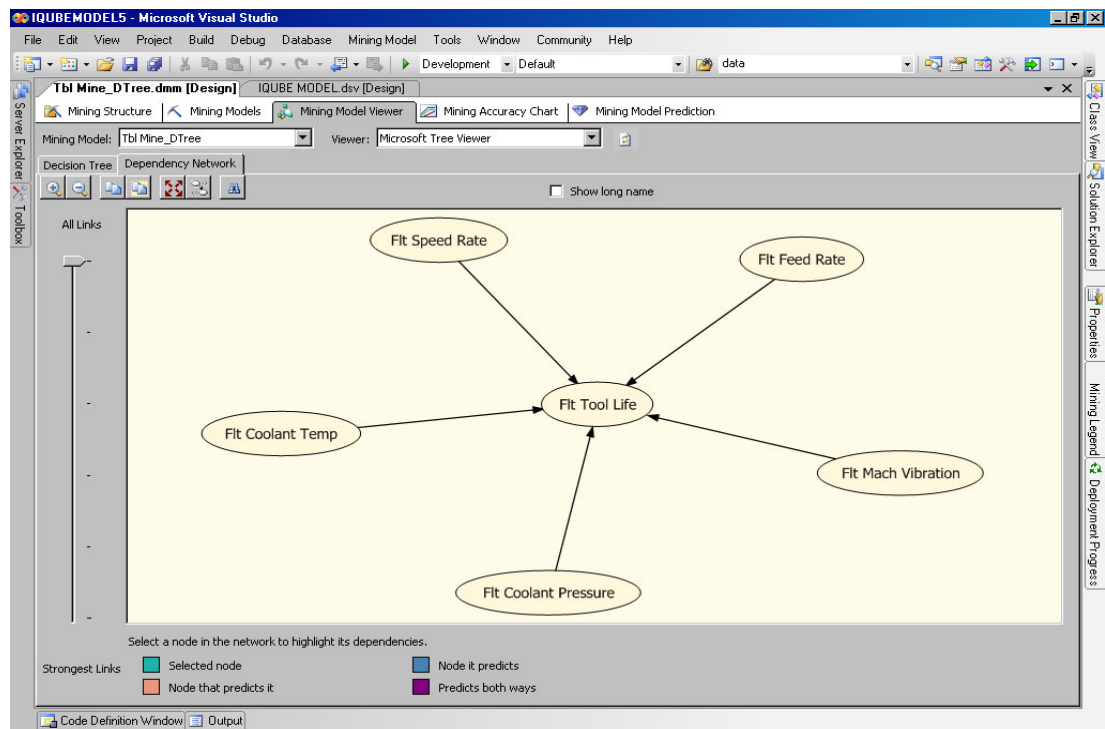


Abb. 60: Einfluss Beispielparameter auf die Zielfunktion

Abbildung 60 zeigt die Haupteinflussfaktoren auf die Zielfunktion. Dabei wird die Gewichtung der Werte des Einflusses über die Linienstärke der Pfeilverbindungen dargestellt. Im exemplarischen Fall ist der Standweg des Werkzeuges von den Faktoren Kühlmitteldruck, Maschinenvibration, Vorschubrate, Schnittgeschwindigkeit und Kühlmitteltemperatur abhängig.

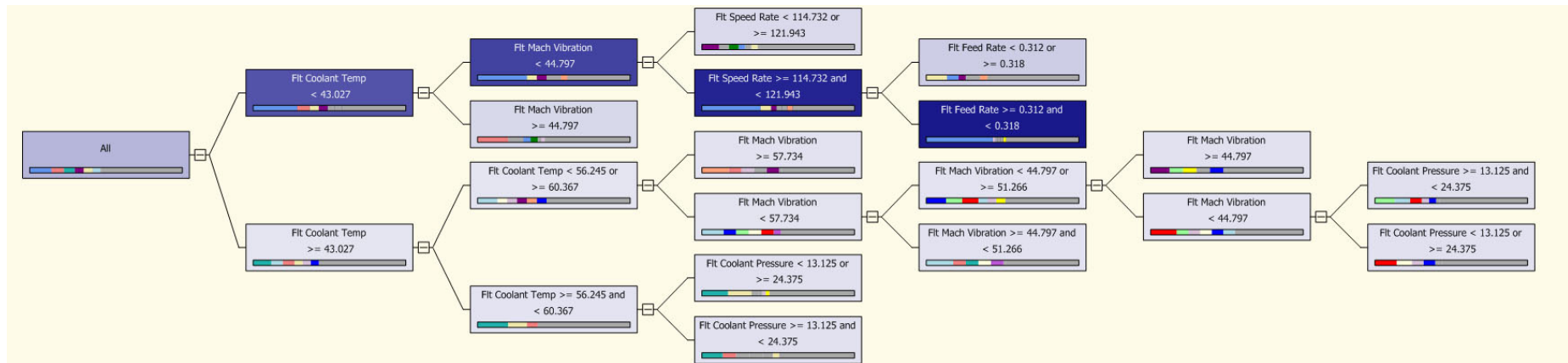


Abb. 61: Entscheidungsbaum Beispiel Kühlmitteltemperatur

Im Weiteren werden diese Haupteinflussfaktoren dezidiert analysiert; man erhält die Ursache- Wirkungsbeziehungen, die in Abbildung 61 dargestellt sind. Der wahrscheinlichste Fall wird darin hervorgehoben. Die Summe aller Ursache- Wirkungsbeziehungen bildet das UW- Netz, das u.a. zur Visualisierung herangezogen wird. Die gefundenen Regeln werden in der Wissensdatenbank strukturiert abgelegt und dienen beim nächsten Durchlauf, zusammen mit den bereits gespeicherten Mustern, als Ausgangsbasis für die Diagnose.

Nach Schritt vier werden die neu generierten Steuerungsgrößen in das System zurück geschrieben, um im Zerspanungsprozess Anwendung zu finden. Nach einem erneuten Durchlauf des Prozesses wird ein neuer Datensatz aus dem Analysetableau abgerufen.

Abbildung 62 verdeutlicht grafisch die einzelnen Module des MCQTI Modells, wobei das Simulationsmodul den realen Fertigungsprozess ersetzt. Eine diesbzgl. Validierung wird in Kapitel 9 beschrieben.

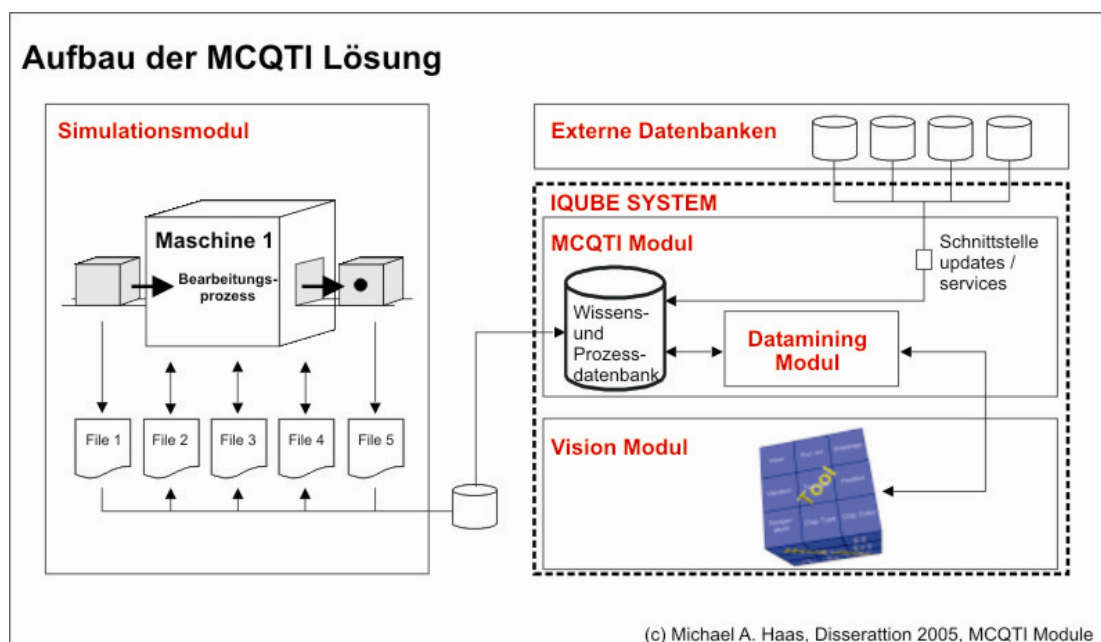


Abb. 62: Modularer Aufbau des MCQTI Systems

Neben dem primären Ziel der Optimierung des Fertigungsprozesses können, basierend auf dem MCQTI Zyklus, die fehlerverursachenden Bereiche eindeutig bestimmt werden.

Somit schließt sich der Kreis zum Quality Networking, wonach die Qualität aus einer Kombination aus den sechs qualitätsbeeinflussenden Bereichen definiert wird. Kritische Parameterzustände, die sich beispielsweise an einem verführten

Standzeitende des Werkzeuges manifestieren, haben nicht zwangsläufig ihren Ursprung im Werkzeugbereich. Eine detaillierte Aufschlüsselung nach Fehlerverursachern ist somit im Rahmen einer Auswertung möglich. In neuen Produktionsabrechnungsverfahren und Toolmanagement-Projekten kann eine eindeutige Fehler- und Kostenzuweisung erfolgen. Dies ist von entscheidender Bedeutung im pay per part Verfahren, wonach der Serviceanbieter auf Basis der Gutteile in der Fertigung entlohnt wird.

#### 7.4. Visualisierung der Ergebnisse

Der MCQTI-Prozess stellt einen - in sich geschlossenen - Kreislauf dar. Ergebnisse desselben werden weiterverarbeitet und in den Regelkreislauf in Form von Steuerungsindikatoren überführt. Somit ist dem Anwender dieser Kreislauf weitestgehend nicht transparent. Diesen Umstand wird durch eine geeignete Visualisierung entgegengewirkt. Konkret werden Ursache- Wirkungsbeziehungen der einzelnen Bereiche dargestellt und können bzw. müssen im Rahmen der Lernphase durch den Anwender bestätigt werden.

Analog den sechs Einflussbereichen (vgl. Punkt 6.5ff) wurde ein sechsseitiger, geometrischer Körper definiert (Würfel) bei dem jede Seite einen Einflussbereich des Gesamtsystems zugeordnet ist. Dies wird in Abbildung 63 verdeutlicht.

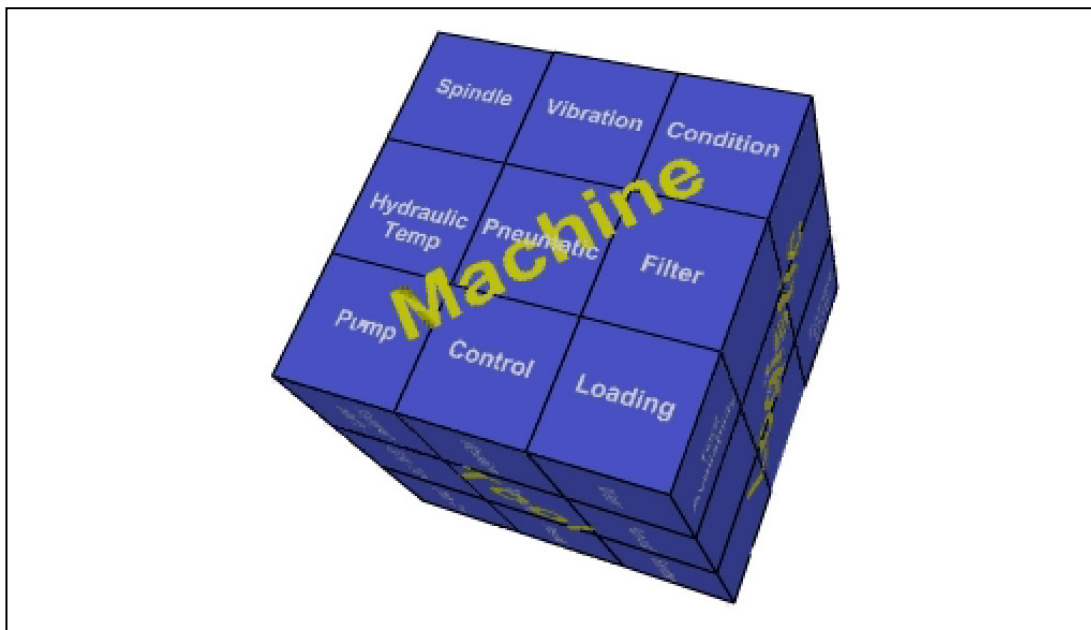


Abb. 63: Visualisierung der MCQTI Ergebnisse

Durch rotieren dieses Körpers um alle drei Achsen sind somit alle Einflussbereiche permanent sichtbar. Bei Eintritt einer zuvor als Fehler definierten Parameterkonstellation (MCQTI Kreislauf Phase 1) wird auf die entsprechende Seite gedreht. Der Anwender bestätigt die Kenntnis über diesen Fehler. Nach Abschluss der vierten Phase des MCQTI Kreislaufes und Generierung der Steuerungsgrößen, rotiert der Würfel auf die entsprechende Seite, die den Verursachungsbereich repräsentiert. Durch erneutes bestätigen von Anwenderseite werden dann die Steuerungsparameter in den Prozess zurückgespeichert und freigegeben. Somit werden Ursache- Wirkungsbeziehungen visualisiert und nach Überprüfung strukturiert abgespeichert. Anhand eines Beispielen soll der Ablauf noch einmal dargestellt werden:

1. Eine durch das Neuronale Netzwerk (MCQTI Phase 1) erkannte Vibration am Werkzeug wird am Würfel durch Rotation auf die Werkzeugseite und Blinken des Parameters Vibration dargestellt.
2. Der Anwender bestätigt die Kenntnisnahme des aufgetretenen Fehlers
3. Der MCQTI-Prozess durchläuft die Phasen 2 und 3
4. Nach Abschluss und Regelfindung in Phase 4 rotiert der Würfel auf die Seite Maschine.
5. Dort signalisiert das Feld Spindel, dass es sich um eine Fehlfunktion der Werkzeugspindel handelt.
6. Das System hat diese Fehlfunktion analysiert und modifiziert die Spindellast durch den Parameter Spindelumdrehungen.
7. Der Anwender wird über den Steuerungsparameter informiert und muss diesen bestätigen.
8. Nach erfolgter Bestätigung wird dieser Parameter an das System im nächst möglichen Bearbeitungsprozess übergeben, so dass bei erneuter Abfrage der Spindellast die Modifikation erkennbar wird.

Der Vorteil dieser Visualisierung liegt in ihrer induktiven, graphischen Anzeigeform. Gegenüber Kennzahlen oder Listen sind so die Zusammenhänge schneller zu erkennen und komplizierte wechselseitige Beziehungen zwischen den Qualitätsparametern erst darstellbar. Diese Schnittstelle zum Anwender ist ein integrativer Bestandteil des Gesamtsystems.

## **7.5. Generierung von Wissen**

Die Wissensgenerierung stellt ein zentrales und innovatives Element der MCQTI-Methode dar. Hierbei werden Strukturen und Zusammenhänge im Rahmen der Entscheidungsbau- und Assoziationsanalyse erkannt, formatiert gespeichert und in den darauf folgenden Prozessdurchläufen in Form von Regeln für die Mustererkennung über Neuronale Netzwerke zur Verfügung gestellt. Somit erhält man ein selbstlernendes System, dessen Wissensbasis mit der Anzahl der Einsätze (= Trainingseinheiten) wächst.

Des Weiteren ergaben die Forschungs-Ergebnisse, dass die Treffsicherheit und Plausibilität der Regeln in dem Maße zunahm, wie der Datenbestand innerhalb der Wissensdatenbank zunahm.

Die Plausibilitätsprüfung innerhalb generierter Regeln wird demnach wie folgt approximiert.

$$num(true) = num(total) - num(false)$$

Da ein größerer Datenbestand dazu führt, immer mehr Ausnahmen von bestehenden Regeln zu erhalten, wurden immer mehr „falsche“ (nicht plausible Regeln) eliminiert.

$$num(false) \rightarrow \min.$$

Das Resultat war, dass im Rahmen der Wissensgenerierung, sich genau diese Regeln als wahr (true) bestätigt haben, für die sich bei mehreren Durchläufen keine Ausnahme aufgezeigt hat. Diese Regeln wurden mit einem Wahrscheinlichkeitsindex versehen und als Referenzmuster zur Mustererkennung in das Neuronale Netzwerk überführt.

Daraus ist ersichtlich, dass ein entscheidender Vorteil des MCQTI-Verfahrens in der dynamischen Anpassung des Systems an die sich verändernden Prozessbedingungen liegt.

Durch die roulierende Wissens- und Regelerzeugung kann das System auf verändernde Prozessparameter reagieren und somit Fehlstellungen oder Tendenzen der Parameter entgegenwirken.

Als sekundärer Effekt stellt sich dadurch heraus, dass erkannte Zusammenhänge und Konstellationen systematisch in eine Knowledge Database (Wissensdatenbank) überführt werden. Diese Erkenntnisse können dann unter anderem für das Quality Function Development (QFD) genutzt werden.

## 7.6. Innerbetriebliches Know How als Wissensschatz

Neu entdeckte Zusammenhänge werden in transformierter Form in der KD (Knowledge Database) gespeichert. Der Aufbau dieser Wissensdatenbank wird in folgender Abbildung verdeutlicht.

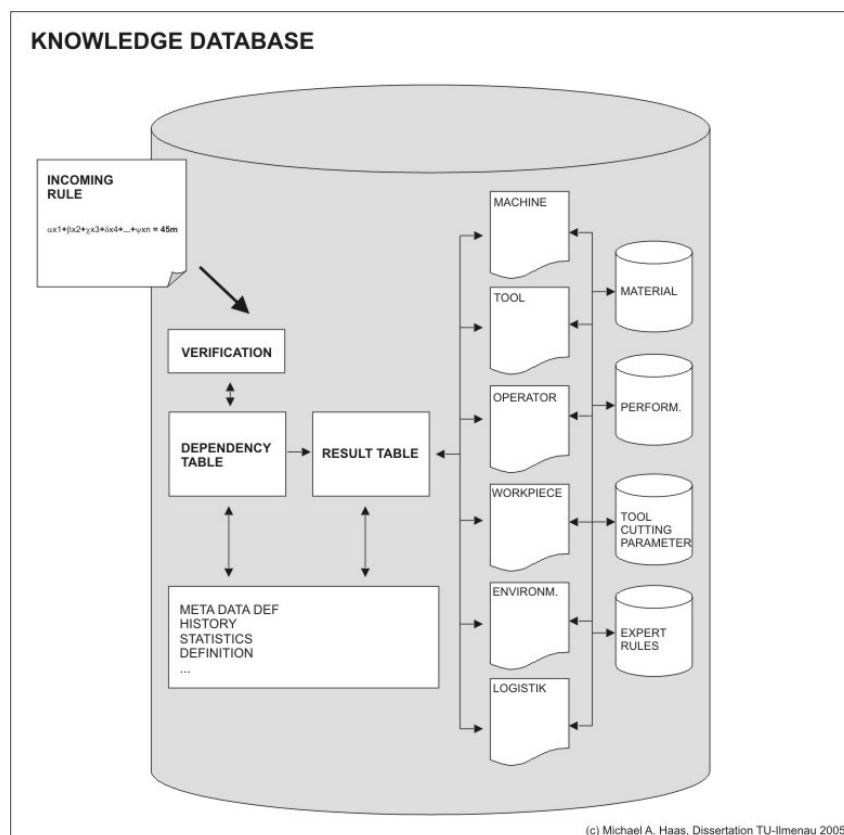


Abb. 64: Aufbau Knowledge Database

Ausgangspunkt der Entwicklung der Wissensdatenbank sind vier (Basis-) Datenbanken: (1) Material, (2) Performance, (3) Schnittparameter und (4) Expertenwissen.

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden verschiedene Werkstoffe aus unterschiedlichen Datenbanken und Normen (DIN, ANSI, etc.) zusammengefasst und nach ihren physikalisch-chemischen Merkmalen gruppiert. Referenzwerkzeuge mit ihren geometrischen Schneideigenschaften, sowie Spanformen, wurden in der Performance-Datenbank sortiert. Geeignete Schnittparameter, sowie darauf abgestimmte Kühlmittel und –drücke, wurden in der TCP (Tool Cutting Parameter DB) strukturiert und anschließend mit Erfahrungswissen von Applikations-Ingenieuren ergänzt.

Basierend auf diesen umfangreichen Wissensdatenbeständen wurden Verknüpfungen zu den zuvor beschriebenen sechs Einflussbereichen innerhalb des MCQTI hergestellt. Diese Individualobjekte der Wissensdatenbank interagieren über ein Neuronales Netzwerk miteinander; d.h. neue, bisher unbekannte Datenzusammenhänge werden anhand bestehender und verifizierter Expert Rules auf Plausibilität überprüft und ggf. diesen hinzugefügt.

Innerhalb des MCQTI-Modells wird das Knowledge Management somit strukturiert und permanent weiterentwickelt. Dabei werden die Parametern nach der Zielvariablen Werkzeugstandweg optimiert.

Beispiel einer vereinfachten Regel:

$$0,5x_1 + 2x_2 + 24,5x_3 = 45,5m$$

Innerhalb der Wissensdatenbank ist folgende Regel als Expert-Rule gespeichert:

$$0,5x_1 + 2x_2 + 28x_3 = 48m$$

Der Parameter  $x_3$  steht exemplarisch für den Kühlmitteldruck. Hinterlegt ist ein Standweg des Werkzeuges von 48m, bei einem Kühlmitteldruck von 28 bar. Die neue eingehende Regel (bei gleichen Randbedingungen) wird abgelehnt, da größerer Werkzeugstandweg bei gleicher Parameterkonstellation bereits hinterlegt ist. Das System versucht nunmehr, den Kühlmitteldruck auf 28 bar zu erhöhen.



### **7.7. Auswirkungen auf das Qualitätsmanagement - Modell**

Das MCQTI-Verfahren basiert auf der Quality Networking Philosophie, vor dem Hintergrund empirischer Erfahrungen, wonach in nahezu allen Prozessen zwischen den Einflussparametern meist komplexe Abhängigkeiten und Wechselwirkungen in netzwerkförmigen Strukturen bestehen.

Die potentiellen MCQTI-Fähigkeiten gehen konform mit denen in der DIN/ISO 9000 Norm definierten Anforderungen an zukunftsfähige QMS. Zentrale Qualitätskriterien hierfür sind (a) kontinuierliche (b) Verbesserungen und (c) Fehlervermeidung.

Kontinuität fordert eine Systematik, die fortwährend und stetig diesbezügliche Fortschritte realisiert. Verbesserungen beinhalten messbare Fortschritte gegenüber dem Status quo und setzen kontinuierliches Lernen und Erkennen von Verbesserungsmöglichkeiten voraus.

Diese Kriterien und Anforderungen sind mit MCQTI erfüllt. Die Selbstlern-Fähigkeiten ermöglichen dem System Verbesserungen selbständig, d.h. unabhängig von immanenten Hürden der Organisation und personalen Befindlichkeiten zu generieren und Prozessoptimierungen, entweder sukzessiv mittels diskretionärer Entscheidungen, oder per Rückkopplung mit der Realsystem, kontinuierlich und unmittelbar umzusetzen.

MCQTI folgt prinzipiell dem auch im Six-Sigma unterlegten PDCA Regelkreis-Schema. Die vom Prozessmonitoring in den Regelkreis überführten Daten bieten Gewähr für Konsistenz der Informationen in den Datenbeständen, die ein objektives Bild zum Prozessgeschehen widerspiegeln. Prozessmonitoring-Daten im Regelkreis zwischen der Maschine/Werkzeug und Werkstück schaffen Transparenz über den Fertigungsprozess selbst, die für „Qualitätssteuerung an der Quelle“ unabdingbar ist. Dies ist der Ansatzpunkt jeder Fehlervermeidungsstrategie. Hierfür bestand bisher keine instrumentelle Lösung. SPC Verfahren liefern zwar Indizes zur Prozessfähigkeit, sie verfolgen hinsichtlich Fehlervermeidung einen systematisch falschen ex post Ansatz.

Dem Ressourcen- und Qualitätsmanagement wird ein Bild zum Verhalten der Maschine und ihrer Subsysteme unter Echtbetriebsbedingungen vermittelt. Gleichzeitig wird die Gewichtung einzelner Subsysteme auf (Fertigungs-) Prozess-Qualität sichtbar. Diese Simultaneität bedeutet die Abkehr von asynchronen bis hin zu koordinierten Entscheidungen, die dem Ressourcen-Management u.a. bei der Wahl zwischen alternativer Wartungs- und Instandhaltungsstrategien hilfreich sind.

Letztlich wird mit der MCQTI-System Visualisierung dem Mitarbeiter eine ergonomisch vorteilhafte Oberfläche geboten, die Eingriffe nur in Ausnahmesituationen erfordert und dafür die Regelungsgröße und/oder Maßnahme vorschlägt und so zur Minimierung des Operating als Prozessqualitätsrisiko beiträgt.

MCQTI ist mehr als eine Ergänzung bisheriger Fertigungssteuerungs-Systeme. Mit dem MCQTI-Einsatz vollzieht das Qualitätsmanagement den Schritt von statistik- und kennzahlenbasierter Qualitätssteuerung hin zu automatisierter Qualitätssteuerung. Prozessbeschreibung mittels mathematischer Statistik entfällt. Diese Fortschritte werden durch MCQTI mit dem Einsatz Data-Mining Verfahren, insbesondere KNN die automatisch lineare und nichtlineare Prozessmodelle generieren, möglich. Damit werden Qualitätsmanager von alltäglicher Arbeit entlastet und Freiräume für fehlerpräventionsorientierte Qualitätsplanung geschaffen.

Die neuere Literatur [SCH07], [HER07], [HAS04], [BAI03] skizziert ein Leitbild für fortschrittliches Qualitätsmanagement, das von den Qualitätsleitlinien-System, Prozess- und Mitarbeiter-Orientierung, Fehlervermeidung (statt Fehlerkontrolle), und kontinuierliches Verbessern (durch kontinuierliches Lernen) geprägt wird. Das Aufgabenprofil wird von Integration der Anwendungsprozessen bestimmt. Mit dem MCQTI-Methodensystem steht ein Lösungsmodell bereit, das analog der QN-Leitlinien die Effizienzkriterien zukunftsfähiger Qualitätssteuerung erfüllt.

**Systemorientierung:** MCQTI praktiziert mit dem Prozessregelkreis 2 systematisch ganzheitliche Fertigungsqualitätssteuerung, indem alle Fertigungsqualität beeinflussende Prozessbereiche in den Steuerungskreis einbezogen werden.

**Prozessorientierung:** Das MCQTI-System umfasst den gesamten Fertigungsprozess und übergibt über den Regelkreis-Exit dem Fertigungssystem optimierte Parametersätze zur real-time Prozess-Steuerung, und gleichzeitig der Wissensdatenbank neu generiertes Prozesswissen, das anschließend unmittelbar genutzt werden kann.

**Fehlervermeidung:** Qualitätssteuerung auf der Feldebene, auf der Qualität (an der Quelle) entsteht, ist der effektivste Ansatz jeder Fehlervermeidungs- und Qualitätskostenreduzierungsstrategie. SPC ermittelt zwar Indizes zur Prozessfähigkeit, Fertigungsqualität und Größen zur Nachjustierung grenzwertiger Prozessparameter, verfolgt damit hinsichtlich Fehlervermeidung den ex-post, und

damit einen systemisch falschen Ansatz. Real-time Prozesssteuerung trägt entscheidend zur Vermeidung von Bearbeitungsfehler bei.

**Kontinuierliches Verbessern:** Das System gewährleistet die Effizienzkriterien, Kontinuität und Verbessern komplementär. Die Prozesse werden kontinuierlich real-time verbessert.

Voraussetzungen für kontinuierliches Verbessern sind stetiges Beobachten und daraus schließendes Lernen. Das MCQTI-Methodensystem ist dazu fähig. Mit jeder Anwendung und jedem Optimierungslauf wird selbständig und permanent neues Prozesswissen generiert und automatisch in der Wissensdatenbank hinterlegt. Mittels on-line Analysen über ein permanent aktualisiertes Datenfeld sind Verbesserungsmöglichkeiten im gesamten Fertigungsumfeld erkennbar. Die Erkenntnisse können mit bereichsspezifischen QFD's gekoppelt, zur Umsetzung erkannter Verbesserungs-Möglichkeiten, genutzt werden.

Das selbstlernende MCQTI-System ist auch für Schulungszwecken einsetzbar. Fertigungsmitarbeiter und Qualitätsmanager können an der intuitiven System-Oberfläche beliebig Prozessszenarien simulieren und aus den Effekten alternativer Steuerungsmaßnahmen lernen.

Damit wird im betriebspraktischen Einsatz MCQTI für die Mitarbeiter ein Instrument zur Selbstkontrolle (Mitarbeiter-Orientierung).

**Analyse-Fähigkeiten:** In der Prozessdatenbank (PzDB) werden aktuelle und historische Echtbetriebs-Prozessbilder hinterlegt. Aus der bis auf einzelne Parameter detaillierten Informationsbasis können online-Analysen erstellt werden, die Fehlerursachen erkennbar machen. Qualitätsstatistiken, die einzelne Objekte in den Prozessfeldern mit zwei Variablen analysieren, werden durch Analysen ersetzt, die Abhängigkeiten im gesamten Prozessumfeld mit nicht-linearen Parameterbeziehungen erklären. Diese Analysen in der nun gebotenen Tiefe über objektive Daten war bisher nur unter spezifischen Voraussetzungen möglich. Sie werden für das Qualitätsmanagement (Ursachen-Erkennung und Qualitätssteuerung an der Quelle) von besonderer Bedeutung.

Mit den Eigenschaften (a) real-time Qualitätssteuerung (b) Analysefähigkeiten und (c) selbständig automatisches Lernen kann das MCQTI System -analog zu den Leitlinien der Qualitätsnorm 9000- fortschrittliches Qualitätsmanagement verändern

und zielführend unterstützen. MCQTI entlastet Qualitätsmanager von der Statistischen Qualitätskontrolle und schafft Freiräume für die Lösung von prozessgestaltungs- und präventive Qualitätssicherungsaufgaben.

## 8.0. Fertigungsprozess- Qualitätssteuerung

Die Positionierung des MCQTI- Systems im vertikalen Prozessmodell mit dem PRK2 Aufgaben wird in der Abbildung 2 veranschaulicht. Nachfolgend wird die MCQTI-Einbindung in das betriebliche Steuerungssystem und damit generierte Nutzen dargestellt.

### 8.1. MCQTI- Einsatz zur betrieblichen Fertigungssteuerung

Die MCQTI- Einbindung in das betriebliche Steuerungssystem erfolgt nach dem in Abbildung 65 dargestellten Schema.

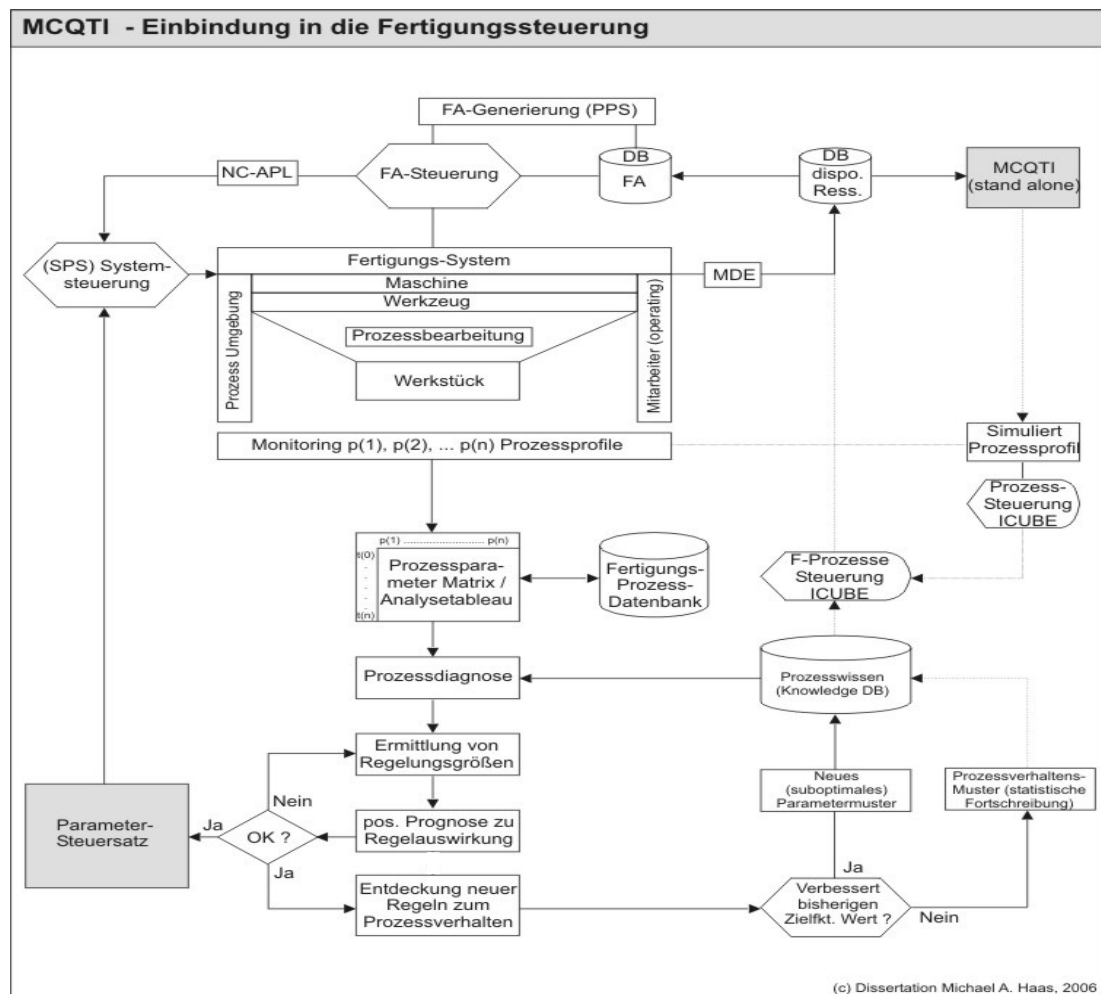


Abb. 65: MCQTI Einbindung in die Fertigungssteuerung

Im Lösungsmodell ist ein QM- spezifisches IT-System vorgesehen. In diesem sind MCQTI- Datenbanken, ICUBE, Visio, Systemsteuerung und die MCQTI Software installiert.

MCQTI- Systemfunktionen:

Im stand-alone Betriebsmodus werden Prozessparametersätze vom Simulationsmodul generiert. Im Echtbetrieb wird diese Datensatz-Bildung vom Prozess-Monitoring übernommen. Die Datensätze aus dem Prozessmonitoring füllen in wählbaren Zeittakten  $t(0)$ ,  $t(1)$ ... die Parameter-Matrix. Auf diese Datentabelle setzen die im Kapitel 7 ff. beschriebenen MCQTI-Prozeduren an. Ergebnis sind Parameter-Steuersätze, die -mit der Systemsteuerung rückgekoppelt- den aktuell laufenden Bearbeitungs-prozess real-time optimieren.

Von MCQTI-Prozeduren entdeckte Prozess-Know-How wird systematisiert und formatiert in die Wissensdatenbank eingestellt und ist als Wissen für unmittelbar folgende Optimierungen nutzbar.

Das QM-proprietäre DV-System als Leitstand präsentiert ein innovatives Qualitätsführungs-Instrument. Der am Bildschirm aufgezeigte Würfel ist die Oberfläche des Systems und Schnittstelle zum Anwender (Operator, Qualitätsmanager). Rechenergebnisse und nicht real-time regulierbare Ausnahmesituationen werden auf die Oberflächen projiziert, grafisch oder numerisch angezeigt sowie Qualitätsmanager zu Eingriffen in das Realsystem auffordert.

## **8.2. MCQTI-Nutzen beim Einsatz zur Fertigungsprozess-Steuerung**

Die methodischen MCQTI- Nutzen und Einflüsse auf das betriebliche Qualitätsmanagement sind unter Punkt 7.7 aufgeführt. MCQTI- Nutzen im betriebspraktischen Einsatz werden nachfolgend erläutert. Das MCQTI- System im betriebspraktischen Einsatz:

Optimiert den Bearbeitungsprozess real-time. Damit wird werkstatt-orientierte (NC-) Programmierung substituiert und Fertigungsqualität wird unabhängig von der Tagesform der Maschinenbediener.

Ersetzt Frühwarnsysteme; das System erkennt Abweichungen prozess-kritischer Parameterwerte sofort und optimiert den Bearbeitungsprozess real-time.

Substituiert statistische Prozessregelung weitgehend; klassische SPC- Aufgaben, z.B. Ermittlung von Prozessindizes und betriebsindividuelle Analysen aus kontinuierlich wachsenden Prozessdatenbeständen sind weiterhin möglich.

- ermöglicht online Analysen über das historische und aktuelle Parameterfeld mit objektiven Aussagen in bisher nicht erreichbarer Tiefe.  
Sie vermitteln dem Ressourcenmanagement ein Bild zum Verhalten der Maschine sowie Subsysteme unter Echtbetriebsbedingungen und machen deren Ausmaß, Gewicht auf die Prozess- und Fertigungsqualität sichtbar. Diese objektiven Informationen sind bei der Entscheidung zwischen zustandsabhängiger oder intervallgesteuerter Instandhaltung, in der Fertigungs- und Investitionsplanung, bei der NC-Programmierung, Werkzeug- und Betriebsmittel- Planung hilfreich.
- MCQTI hält über den Qualitätsführungs-Leitstand Fertigungs-Qualität unmittelbar unter Kontrolle und unterstützt über die ergonomisch vorteilhafte Oberfläche die Maschinenbediener und Qualitätsmanager bei der Prozessführung.  
Diese fertigungsnahe Führung ist ein Ansatzpunkt für die Lösung des Eingangs beschriebenen Problems, wonach mehr als 70 % aller Qualitätsmängel auf personale Unzulänglichkeiten zurückzuführen sind.
- Das QM-System wird mit dem betrieblichen Informationssystem gekoppelt ohne dessen Performance mit zusätzlichen Aufgaben zu belasten. Die Datenintegrität bleibt gewährleistet.
- Das Prozess Know-how erfahrender Mitarbeiter hinsichtlich bewährter Qualitätsstrategien und -maßnahmen wird kontinuierlich erfasst.

**Restriktionen:** Abhängig von Abfragezyklus (Sekunden, Millisekunden), der Anzahl vom System erfasster Prozessparameter und dem Zeitraum, für den Prozessdaten für Analysen vorzuhalten sind, wird der Datenbestand im MCQTI- Analysetableau schnell anwachsen. Damit stößt das Rechnersystem vorhersehbar an Grenzen, die nicht in den Speicherplatzkapazitäten sondern in der Rechengeschwindigkeit des IT- Systems liegen.

Deshalb werden Prozessoptimierungen real-time, und Analysen zu mittel- langfristigen Parameterentwicklungen zu Ressourcenoptimierung im batch –Modus organisiert.

## **9. Experimentelle Untersuchung im Anwendungsgebiet**

Ziel ist, das MCQTI-Methodensystem experimentell zu prüfen und die Funktionalitäten an Hand einer praktischen Anwendung zu validieren. Der Validierungsnachweis gilt als erbracht, wenn relevante Ergebnisse aus den Modellrechnungen mit denen aus praktischen Versuchen bei gleichen Rahmenbedingungen mit einem Konfidenzgrad +/- 10 Prozent übereinstimmen. Getestet wird MCQTI im Stand-alone-Modus. Testaufgabe ist die Steuerung von Bohrprozessen, in denen der Standweg des Schneidwerkzeuges maximiert werden soll.

Dabei wird zuerst die Aufgabenstellung skizziert und anschließend die Simulation anhand eines realen BAZ validiert. Basierend darauf werden Testdaten generiert, die dann als Grundlage der Verifizierung dienen. Innerhalb des MCQTI Regelkreises – mit den Phasen Diagnose, Optimierung, Prognose, Kontrolle und Visualisierung – wird der reale Bohrprozess gesteuert um anschließend über die Auswertung zu den Quality Networking Ergebnissen zu gelangen.

### **9.1. Testumgebung, Basis der Validierung im Realsystem**

Für die Tests stand ab November 2004 bis Juli 2005 im Forschungs- und Versuchsfeld der Firma Gühring OHG in Laiz/Sigmaringen, qualifiziertes Maschinen- und Messequipment zur Verfügung.

Im ersten Schritt werden Parameter der Testmaschine (Vertikales CNC-Bearbeitungszentrum) und der Prozessumgebung abgebildet und in die Ressourcen-Datenbank des MCQTI Systems eingestellt.

Der Bohrprozess wird beschrieben über das definierte Material, das auf einer definierten Anlage mit einem definierten Werkzeug in einer definierten Arbeitsumgebung über einen definierten Prozess bearbeitet wird.

Testmaschine war ein CNC-Bearbeitungszentrum, Typ Norte vertikal, deren technische und physikalische Eigenschaften im Rahmen der Modellplanung in der Software abgebildet wurden. Auf nachstehenden Abbildungen ist der Versuchsaufbau dargestellt:



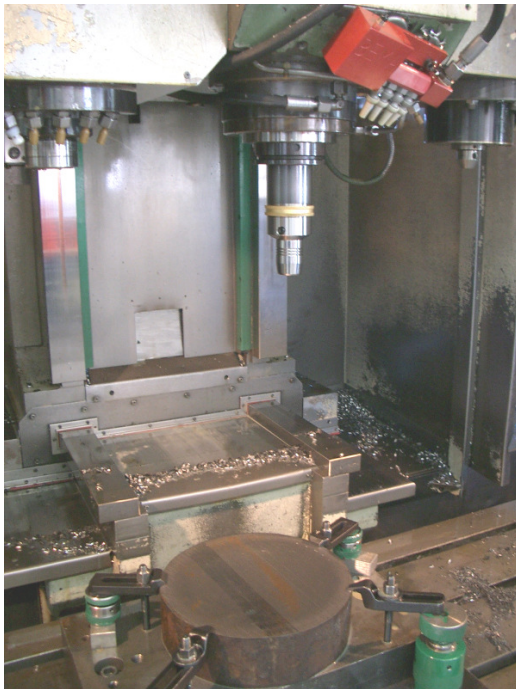


Abb. 66: Versuchsaufbau auf einem vertikalen Bearbeitungszentrum

Abbildung 66 veranschaulicht das Bearbeitungszentrum, nebst dem Bohrprozess. Dabei entsprechen 300 Sacklockbohrungen auf dem Rundmaterial einem theoretischen Standweg von 114m. Als Spannfutter diente ein Hydrodehnspannfutter mit HSK 63, sowie Baluff Chipsatz. Letzterer ermöglichte eine genaue Werkzeugidentifikation, sowie die Speicherung aller gemessenen Werkzeugparameter während des Prozesses.

Durch Implementierung der relevanten Maschinen-/Anlagen-Parameter (z.B. Vibrationsverhalten), technische Leistungsfähigkeit (z.B. max. Spindeldrehzahl, Kühlmitteldruckbereich, Stromaufnahme, Spindellastverhalten, etc.) in die Ressourcendatenbank wurde die Anlage innerhalb der Simulationssoftware abgebildet.

Eine detaillierte Auflistung aller Parameter sind im Folgenden als qualitätsbestimmende Parameter im Bohrprozess dargestellt:

Ser. #	Quality Areas	Parameter name
1	Machine	Machine ID
2	Machine	Machine Name
3	Machine	Machine Type
4	Machine	Machine Rotation
5	Machine	Machine Weight
6	Machine	Machine Direction
7	Machine	Current Machine Vibration level
8	Machine	Machine Number
9	Machine	Machine Stability
10	Machine	Machine Application support
11	Machine	Machine Pneumatic pressure
12	Machine	Machine Manufacturer
13	Machine	Machine Manufacturer Address
14	Machine	Machine Manufacturer Country
15	Machine	Machine Spindle quantity
16	Machine	Machine Spindle Runout
17	Machine	Machine Spindle max RPM
18	Machine	Machine Spindle min RPM
19	Machine	Machine Spindle Rot-Dir
20	Machine	Machine Spindle Power
21	Machine	Machine Spindle offset
22	Machine	Machine Internal coolant support
23	Machine	Machine max. coolant pressure
24	Machine	Machine coolant type support
25	Machine	Machine year of installation
26	Machine	Machine spindle interface type
27	Machine	Machine chuck type
28	Machine	Machine Hydraulic temperatur
29	Machine	Machine Hydraulic pressure
30	Machine	Machine max. Air pressure
31	Machine	Machine Air quality
32	Machine	Machine Filter type
33	Machine	Machine Control Type
34	Machine	Machine Software Release
35	Workpiece	Material ID
36	Workpiece	Material Number
37	Workpiece	Material Class
38	Workpiece	Material Condition
39	Workpiece	Material Group
40	Workpiece	Material Minimum hardness
41	Workpiece	Material Maximum hardness
42	Workpiece	Material Minimum tensile strength
43	Workpiece	Material Maximum tensile strength
44	Workpiece	Material pre-machined
45	Workpiece	Material shrink
46	Workpiece	Material Abrasive

47	Workpiece	Material elements
48	Workpiece	Material intermediate cut
49	Workpiece	Material Homogeneity
50	Workpiece	Material quality
51	Workpiece	Material surface quality
52	Workpiece	Material expected surface quality
53	Workpiece	Material Supplier
54	Workpiece	Material Supplier Address
55	Workpiece	Material Supplier country
56	Tool	Tool ID
57	Tool	Tool standard
58	Tool	Tool Step
59	Tool	Tool Relief Angle
60	Tool	Tool Rake Angle
61	Tool	Tool Wedge Angle
62	Tool	Tool Helix Angle
63	Tool	Tool Point Angle
64	Tool	Tool Application Type
65	Tool	Tool Norm
66	Tool	Tool Length
67	Tool	Tool Diameter
68	Tool	Tool Point geometry
69	Tool	Tool Flute quantity
70	Tool	Tool Flute length
71	Tool	Tool Flute profile
72	Tool	Tool rotation direction
73	Tool	Tool length category
74	Tool	Tool material
75	Tool	Tool Cutting Material
76	Tool	Tool Coating
77	Tool	Tool Coating type
78	Tool	Tool Internal Coolant support
79	Tool	Tool Shank length
80	Tool	Tool Shank diameter
81	Tool	Tool Shank tolerance
82	Tool	Tool Shank type
83	Tool	Tool runout
84	Tool	Tool vibration
85	Tool	Tool Cutting corner break
86	Tool	Tool recommended Speed rate
87	Tool	Tool recommended Feed rate
88	Tool	Tool minimum speed rate
89	Tool	Tool maximum speed rate
90	Tool	Tool minimum feed rate
91	Tool	Tool maximum feed rate
92	Tool	Tool expected chip type
93	Tool	Tool expected surface quality
94	Tool	Tool wear location 1
95	Tool	Tool wear location 2
96	Tool	Tool wear location 3
97	Tool	Tool wear location 1 quantity level
98	Tool	Tool wear location 2 quantity level

99	Tool	Tool wear location 3 quantity level
100	Tool	Tool breakage
101	Tool	Tool maximum depth of hole
102	Tool	Tool Manufacturer
103	Tool	Tool Manufacturer address
104	Tool	Tool Manufacturer country
105	Operator	Operator ID
106	Operator	Operator current speed rate
107	Operator	Operator current feed rate
108	Operator	Operator application
109	Operator	Operator hole type
110	Operator	Operator interaction required
111	Operator	Operator qualification
112	Operator	Operator experience
113	Operator	Operator Shift start
114	Operator	Operator Shift end
115	Operator	Operator time to shift end
116	Operator	Operator time to next break
117	Operator	Operator time from shift start
118	Operator	Operator time from last break
119	Logistics	Tool availability
120	Logistics	Current Tool ID
121	Logistics	Current Machine ID
122	Logistics	Current Material ID
123	Logistics	Current Operator ID
124	Logistics	Current Chuck ID
125	Logistics	Current coolant pressure
126	Logistics	Current coolant temperature
127	Logistics	Current hole number
128	Logistics	Current hole depth
129	Logistics	Current Process Cycle Time
130	Environment	Chuck ID
131	Environment	Chuck runout
132	Environment	Chuck clamping force
133	Environment	Current chuck clamping force
134	Environment	Chuck reconditioned
135	Environment	Current Power quality
136	Environment	Chuck reduction bush
137	Environment	Current Coolant pressure
138	Environment	Current Coolant temperature
139	Environment	Current Humidity
140	Environment	Current Air temperature in production
141	Environment	Current oil % in coolant
142	Environment	working condition
143	Environment	Current chip type
144	Environment	Current chip color
145	Environment	Current work conditions
146	Environment	Current neatness

Abb. 67: Qualitätsbestimmende Parameter im Bohrprozess

Als Versuchsmaterial wurde Mn37Si5 gewählt. Die chemischen und physikalischen Materialeigenschaften wurden von der zuvor aufgebauten Wissensdatenbank in den Modelldatenbank integriert (vgl. Anhang III).

Zum Messen des Werkzeugverschleißes wurde ein Messgerät mit CCD Kamera benutzt.

Zur Validierung notwendige Werkzeugparameter werden folgend aufgelistet:

Werkzeugname:	Typ A
DIN:	6537
Fasenbreite:	0,75 mm; Toleranz: +0,09
Rückendurchmesser:	14,88 mm; Toleranz: -0,138
Freiwinkel:	1. +8° 2. +2°
Verjüngung absolut:	0,1 +0,03 -0
Spitzenanschliff:	Kegelmantelanschliff mit Sekundärfreifläche
Spitzenwinkel:	140°
Ausspitzung:	Ratio-Ausspitzung
Seitenspanwinkel:	Normal
Kernanstieg:	ohne Kernanstieg
Durchmesser:	15,5 mm
Durchmessertoleranz:	m7
Kern v./Kern h.:	4,805 +0,09
Schaft:	nach DIN 6535 Form HA, Toleranz H6
Kühlmittelzufuhr:	verdrallt, durch die Stege
Steigung:	30°/84 +0,5 mm
Stegbreite:	10,075 mm
Beschichtung:	TiN / TiAlN multilayer; 0,004 – 0,005 mm
Schaftdurchmesser:	16,0 mm
Max.Bohrtiefe:	3 x D
Konstruktionsmerkmale (weitere)	nach DIN 6540

Abb. 68: Versuchswerkzeugspezifikation Typ A

Ergänzend zu diesen Basisparametern wurden Grundlagenforschungen und Expertenbefragungen durchgeführt, um u.a. das Verhalten des Werkzeuges bei der realen Bearbeitungsaufgabe im Modell mit den simulierten Parametern realistisch abzubilden und mit der Software zu synchronisieren. Im Folgenden werden auf die

Ergebnisse dieses realen Prozesses eingegangen, der als Basis für die Simulationsentwicklung diene.

Neben den Maschinen-, Material- / Werkstück- sowie Werkzeugdaten wurden ergänzend praktische Versuche mit einer Wärmebildkamera gefertigt, um den Erwärmungsverlauf des Werkzeuges, speziell an der Hauptschneide, zu untersuchen.

Die folgenden Abbildungen zeigen den Erwärmungszustand des Werkzeuges im definierten Werkstückmaterial (Mn37Si5) in der jeweiligen Bohrtiefe mit einem Kühlmitteldruck von durchschnittlich 24 bar.

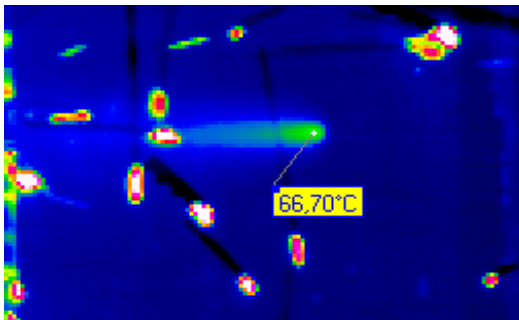


Abb. 69: Wärmebild Bohrtiefe l=10mm

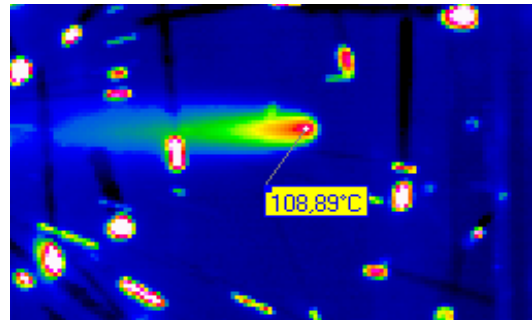


Abb. 70: Wärmebild Bohrtiefe l=30mm

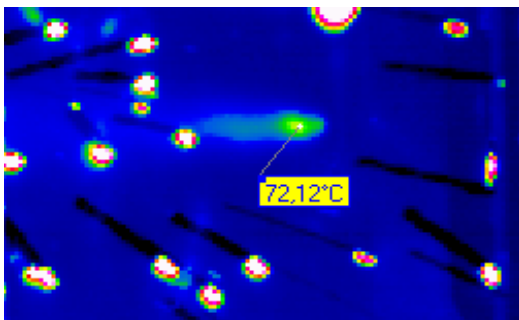


Abb. 71: Wärmebild Bohrtiefe l=20mm

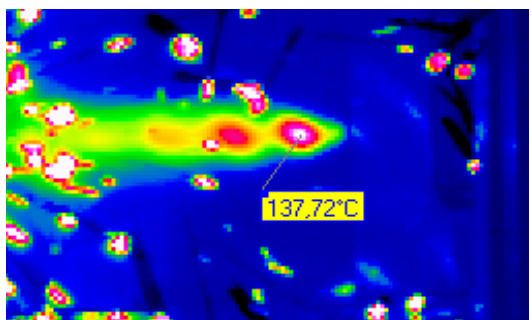


Abb. 72: Wärmebild Bohrtiefe l=40mm

Neben dieser Bohrprozessanalyse des Temperaturverlaufs an der Hauptschneide wurden weitere Untersuchungen bzgl. der Trockenbearbeitung sowie des Anbohrverhalten durchgeführt. Diese sind auf den folgenden Abbildungen dargestellt.

Bei identischen Versuchsbedingungen, bzgl. Spindeldrehzahl und Vorschub, erreichte die Werkzeugspitze eine maximale Erwärmung von 431,26 Grad Celsius bei der Trockenbearbeitung (vgl. Abbildung 73)

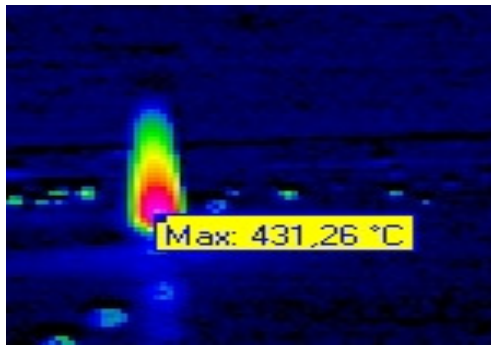


Abb. 73: Wärmebild maximale Erwärmung

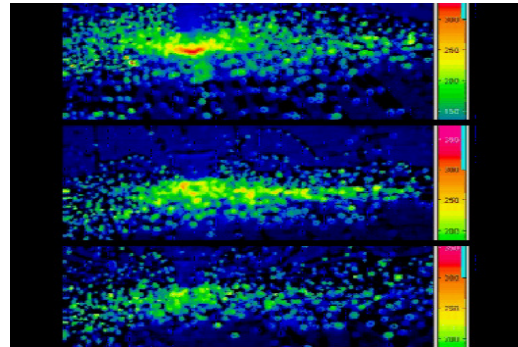


Abb. 74: Wärmebild Anbohrverhalten (Erwärmung)

Bei Anbohrverhalten zeigte sich, dass die maximale Temperatur **vor** der Spanbildung erzielt wurde. Dies bestätigt die Theorie, dass durch die Spanbildung neben dem Materialabtrag auch Temperatur von der Hauptschneide weggeleitet wird. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass Spänestau (Hauptursache für Werkzeugbruch durch verkeilen der Späne in der Werkzeugnut) in der Bohrung zu Hitzestau führt. Diese Erkenntnisse über die Erwärmung des schneidenden Werkzeuges sowie die Wärmeausdehnung im Anbohrverhalten und bei der Trockenbearbeitung (vgl. Abbildung 74) dienten u.a. als Grundlage für die Programmierung der Algorithmen.

Im Weiteren wurden typische Verschleißmuster analysiert. Dieser Verschleiß kann an mehreren Stellen (Hauptschneide, Führungsphasen, Spannuten, Querschneide) auftreten. Innerhalb der Simulation wurden dafür Parameter definiert, die die Informationen über Ort und Stärke des Verschleißes beinhalten (vgl. Anhang III). Der Verschleiß wurde dabei in die Kategorien 1 bis 5 unterteilt, wobei 1 für geringen Verschleiß (Verschleißmarkenbreite kleiner 5  $\mu\text{m}$ ) und 5 für Ausbruch bzw. Werkzeugbruch steht. Darüber hinaus ist der Verschleiß kategorisiert in Oberflächen- (i.d.R. auf der Beschichtungsebene) und Gefügeverschleiß (i.d.R. Ausbrüche) sowie symetrischen Verschleiß (z.B. an beiden Hauptschneiden nahezu identisch), oder asymmetrischen Verschleiß untergliedert.



Basierend auf der Grundlagenforschung ergaben sich zusammengefasst die im Folgenden dargestellten Abbildungen, wobei die Bilder für exemplarische Zustände an definierten Verschleißstellen des Werkzeuges aufgenommen wurden.

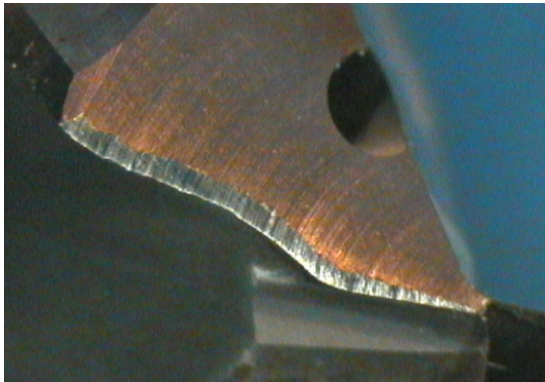


Abb. 75: Idealer Verschleiß

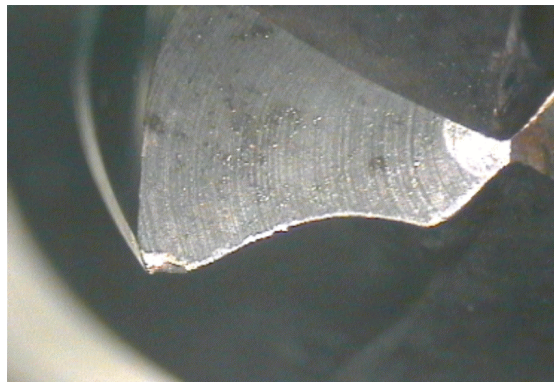


Abb. 76: Ausbruch Schneidecke

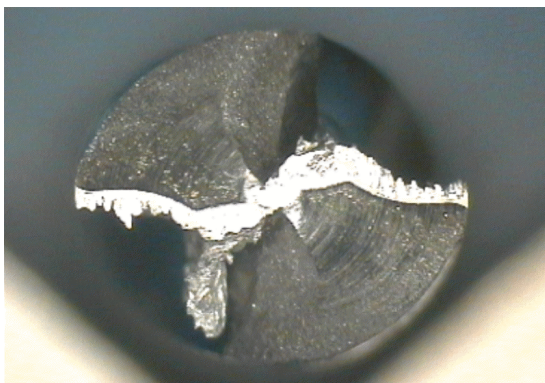


Abb. 77: Aufbauschneide

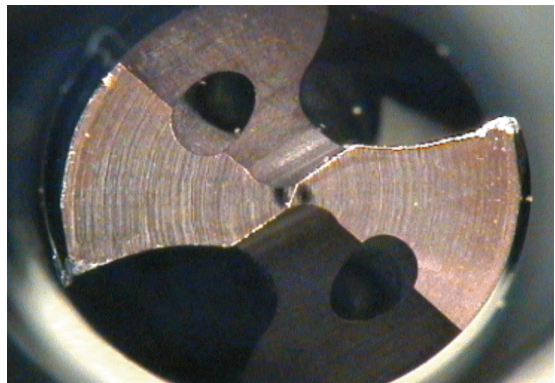


Abb. 78: Verschleiß unter Aufbauschneide

Neben den zuvor beschriebenen Erkenntnissen wurden weitere Untersuchungen hinsichtlich der Spanbildung durchgeführt. Spiralspan (Anbohrvorgang), Fähnchenspan (geringe Schnittgeschwindigkeiten, Anbohrvorgang) und Bröckelspan geben nicht nur Aufschluss über das Material des Werkstücks, sondern liefern auch wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Schnittparameter und Kühlung, sowie über den Fortschritt der Bohrbearbeitungsaufgabe.

Nachstehende Abbildungen sind exemplarische Aufnahmen aus der Validierungsphase:





Abb. 79: Typische Abbildung eines Fähnchenspanes, Spiralspanes (Anbohrspan), Bröckelspanes

Aufbauend auf diesen Grundlagenuntersuchungen wurden Bohrversuche mit 15 Werkzeugen (unterschiedlicher Chargen) des zuvor definierten Typs, im zuvor definierten Material, auf dem NTC Bearbeitungszentrum gemacht und diese mit den Ergebnissen der Simulationsläufe verglichen, um eine Aussage bzgl. des Konfidenzwertes / Niveau zu erhalten. Dabei wurde in 13 Fällen ein nahezu idealtypischer Verschleiß festgestellt. Dieser ist auf dem Schaubild (vgl. Abbildungen 65) durch das Werkzeug 3 symbolisiert. In einem weiteren Versuch wurde das Werkzeug „trocken gefahren“, um einen Vergleich des Standweges zur Nassbearbeitung zu erhalten. Hierbei erzielte ein Werkzeug (Werkzeug 1) einen sehr geringen Standweg. Untersuchungen des Werkzeuges ergaben, dass dieser Fehler (Werkzeugbruch) auf einen Materialfehler im Schneidstoffgefüge zurückzuführen war.

## 9.2. Validierung des Systems

Als reale Referenz diente das zuvor beschriebene vertikale Bearbeitungszentrum. Standzeitversuche mit den Werkzeugen, in unter Punkt 9.1 beschriebenen Bedingungen, ergaben ein Mittel von 60,56 m. Dabei traten typischerweise die unter Abbildung 80 gezeigten Verschleißmarkenverläufe auf (vgl. Anhang II).

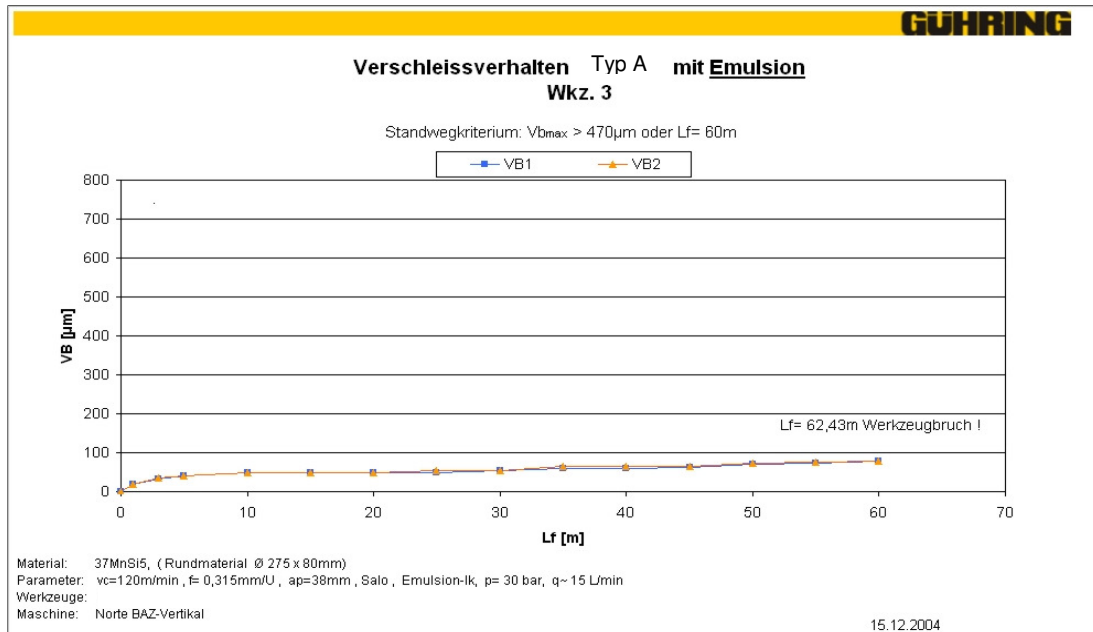


Abb. 80: Verschleißmarkenverläufe eines Beispielwerkzeuges

Die Abbildung 80 veranschaulicht einen idealen Verschleißmarkenverlauf eines Versuchswerkzeuges unter realen Bedingungen. Ausreißer bezüglich des WZ-Standweges (durch verfrühtes Standzeitende, z.B. Werkzeugbruch) wurden dabei eliminiert.

Nachfolgende Abbildung 81 zeigt ein entsprechendes Diagramm unter realen Bedingungen. Dabei ist zu erkennen, dass die Verschleißmarkenverläufe bis zu einem Standweg von 25 m nahezu simultan verlaufen, danach bei Werkzeug 1 stark zunehmen. Das Messprotokoll hierzu ist im Anhang II hinterlegt. Dieser Werkzeugbruch ist auf einen Schneidstofffehler zurückzuführen, da sich das Prozessparametermuster analog zu den Versuchen mit höherem Standweg verhielt. Bei einem Geometriefehler an der Hauptschneide wäre die Analogie der Verschleißmarkenbreiten bis 25 m nicht gegeben.

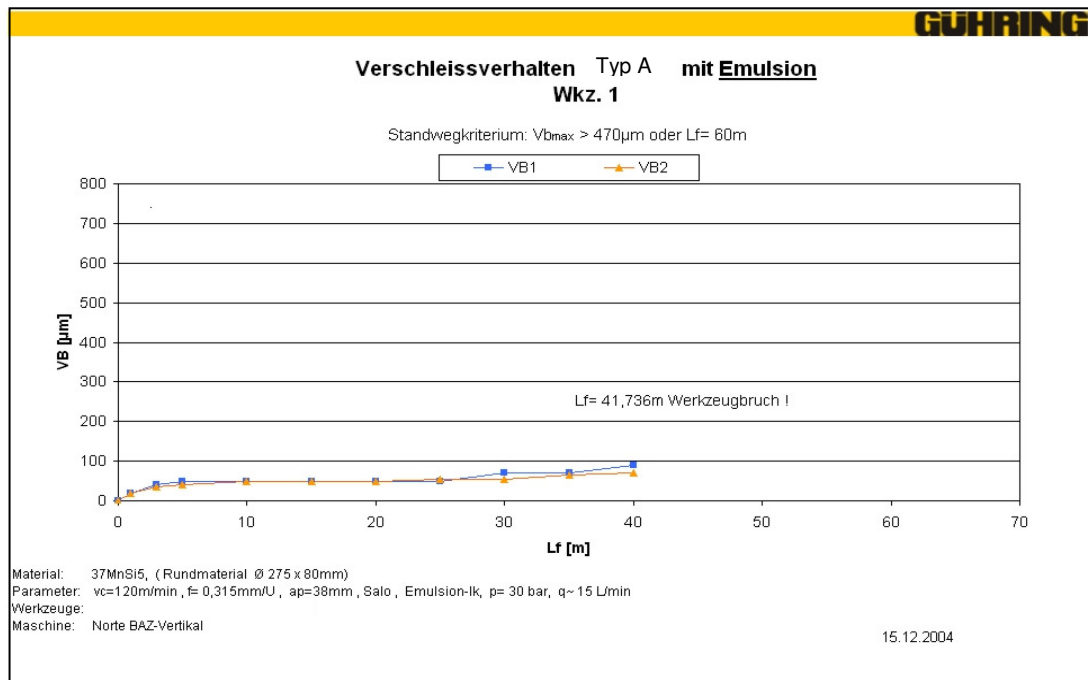


Abb. 81: Verschleißmarkenverlauf Werkzeugbruch, Werkzeug 1

Um die Randbedingungen weiter zu definieren bzw. einzuschränken, wurden Versuche mit Trockenbearbeitung durchgeführt. Dabei zeigt sich in Abbildung 82 ein Diagramm, welches einen nahezu nicht messbaren Verschleiß an der Hauptschneide bis ca. 15 m aufweist, anschließend jedoch sehr stark zunehmend ist. Zurückzuführen ist dies auf eine starke thermische Belastung des Schneidstoffgefüges bei der Emulsionsbearbeitung. Konkret, durch das ständige Kühlen des Werkzeuges und Aufheizen bei der Bearbeitung ergibt sich eine weniger homogene Gefügebelastung, als bei der Trockenbearbeitung. Dieses gewonnene Expertenwissen wurde als Regel in der Wissensdatenbank bestätigt. Dies hatte wiederum zur Folge, dass das System den Kühlmitteldruck so regelte, dass nur bei der Zerspanung ein äquivalenter Druck vorhanden war. Das System erzielte damit einen höheren Standweg, was sich als contraproduktiv für die Validierung der Simulation herausstellte. Die Regel wurde deshalb für die Validierung nicht beachtet.

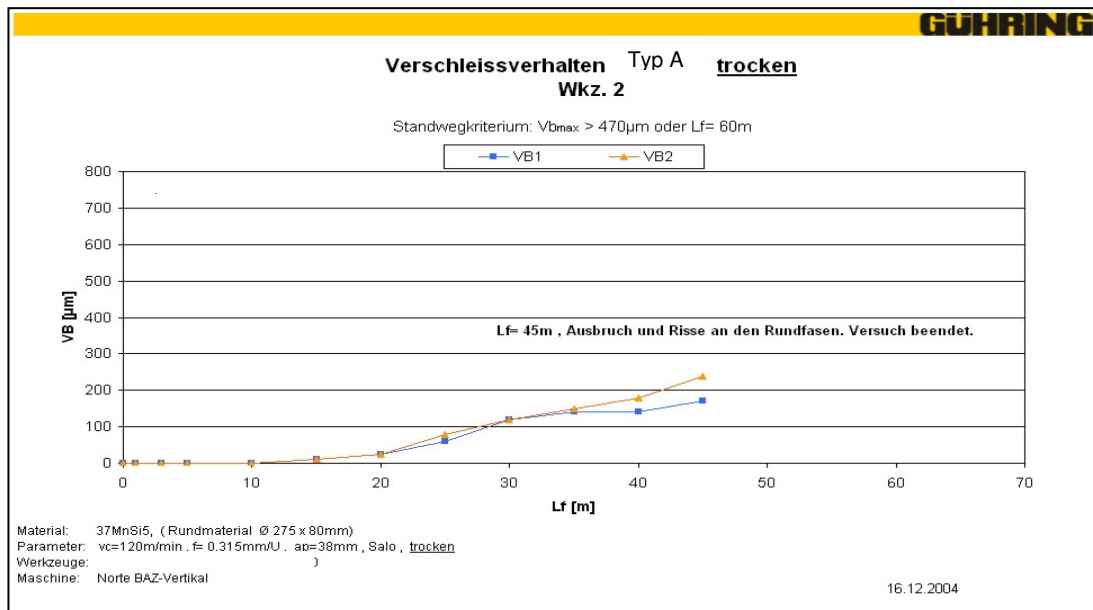


Abb. 82: Verschleißmarkenverlauf Trockenbearbeitung - Werkzeugbruch

Abbildung 82 verdeutlicht ein typisches Verschleißmarkendiagramm mit einem Ergebnis ohne Zuführung eines Kühlmediums.

Über die Summe der Bohrversuche und unter Ausschluss von Ausreißern wurde der o.g. mittlere Werkzeugstandweg von 60,56 m ermittelt. Abbildung 83 veranschaulicht die Versuchsreihe unter Realbedingung.

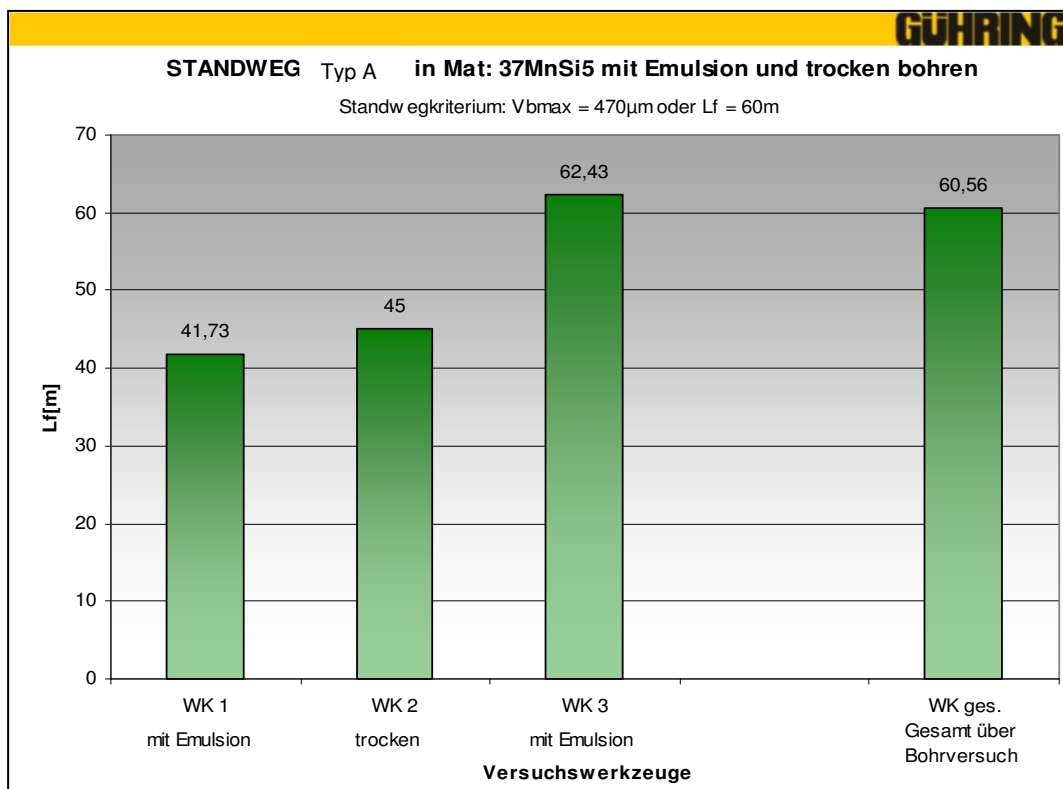


Abb. 83: Werkzeugversuchsreihe (Standweg) auf dem BAZ

Ein analoges Diagramm wurde basierend auf der Simulation erzeugt. Dabei ist ein mittlerer Werkzeugstandweg von 59,78 m erzielt worden (vgl. Abbildung 84). Die Differenz von 1,288% gegenüber den realen Bedingungen kann als repräsentativ und tolerierbar bewertet werden.

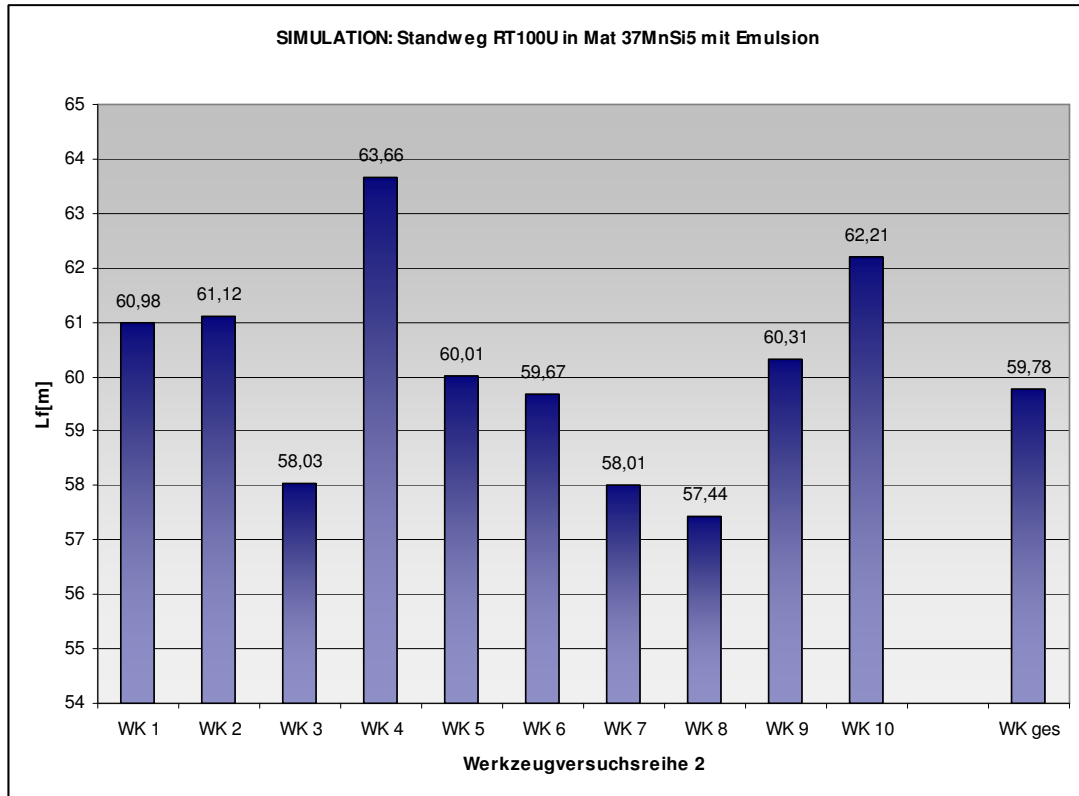


Abb. 84: Werkzeugversuchsreihe (Standweg) in der Simulation.

Der Standweg wurde dabei über 300 simulierte Bohrprozesse ermittelt. Vorgeschaltet wurde eine Trainingsphase, die sich in Abbildung 85 wieder findet. Daraus ersichtlich ist, dass das untrainierte System mindestens 6 Bohrprozesse benötigt um sich auf den Standweg eines trainierten Systems einzupendeln. Bei Betrachtung der Varianzabweichung bedarf es im konkreten Anwendungsfall ca. 30 Bohrprozesse, um -im Vergleich zu einem trainierten System- ein äquivalent stabiles und kontinuierliches Niveau zu erreichen.

Diese schnelle Lernkurve wurde durch die Bereitstellung des Erfahrungswissens in Form von geeigneten Parameterkonstellationen erzielt. Bei einer mittleren Abweichung von  $\pm 5\%$  zum Mittelwert des Referenzstandweges wird der ermittelte Werkzeugstandweg als stabil bezeichnet.

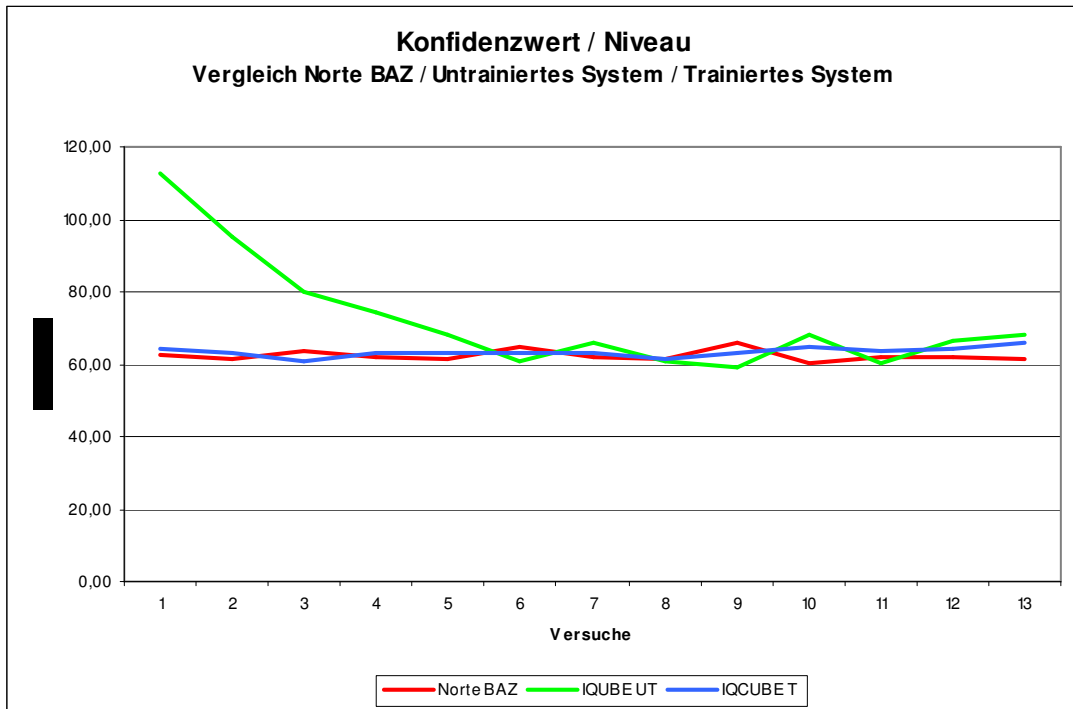


Abb. 85: Lernkurve des untrainierten Systems

Das trainierte System mit einem durchschnittlichen Werkzeugstandweg von 59,78 m diente als Referenzmuster für die folgende Systemoptimierung. Die Abweichung dieses Referenzmusters betrug bei 5 Wiederholungen weniger als 1%. Somit kann der Wert von 59,78 m als validierte Referenz bewertet werden. Abbildung 85 zeigt die Lernkurve des untrainierten Systems sowie die erzielten Vergleichswerte auf dem Bearbeitungszentrum und dem trainierten System. Dabei ist ersichtlich, dass die Vergleichswerte des Bearbeitungszentrums mit denen des trainierten Systems auf nahezu gleichem Niveau liegen. Die größere Varianz des Realsystems (BAZ) beruht auf Parameterschwankungen, die noch nicht in der Simulation erfasst sind. Diese Schwankungen sind jedoch von untergeordnetem Interesse, da die ermittelten Standwege auf nahezu gleichem Niveau liegen und durch Zufallsvariablen und Faktoren in der Simulation Ausreißer erzeugt werden können. Somit werden die ermittelten Werte der Simulation als repräsentativ bewertet. Die Validierung ist somit erfolgreich erbracht.

### 9.3. Generierung von Testdaten aus dem Realsystem

Nach erfolgreicher und bestätigter Validierung der Simulation wurden dem System Parameter aus den Bohrversuchen übergeben. Die Simulation generierte nunmehr Parametersätze für den MCQTI-Regelkreis. Diese Parametermuster wurden nochmals auf Plausibilität überprüft und mit den realen Parametern verglichen. Es stehen mit einer Abtastrate von 150 ms 146 Parameter zur Verfügung, wobei 61 Parameter variabel sind (verändern sich innerhalb der Simulationsläufe), 85 Parameter fix (geben Aufschluss über Zustände und verändern sich i.d.R. während der Simulation nicht). Basierend auf den derzeitigen Systemressourcen werden die Parameter jedoch nur im Sekundentakt übernommen, d.h. ein Parametersatz pro Sekunde.

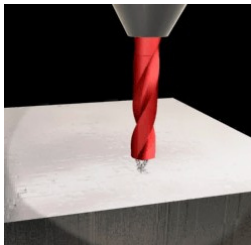


Abb. 86: Sequenz t=0s

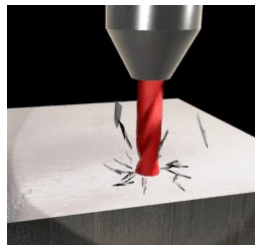


Abb. 87: Sequenz t=3s

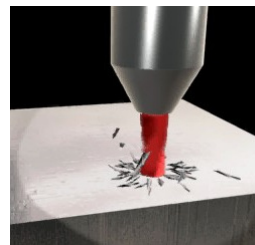


Abb. 88: Sequenz t=8s

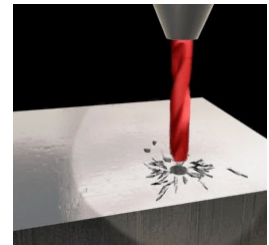


Abb. 89: Sequenz t=11s

Gleichzeitig wird der jeweilige Simulationsfortschritt anhand einer Videosequenz grafisch dargestellt (vgl. Abbildung 86 bis Abbildung 89). Bei Störungen durch Werkzeugbruch, oder Anlagenausfall wird die Simulation angehalten und ein entsprechender Parameter dem System übergeben, der die Information über Art und Bereich des Ausfalls enthält. Somit ist sichergestellt, dass Simulation und Optimierungskreislauf synchron arbeiten und keines der beiden getrennten Systeme auf eine Eingabe wartet.

### 9.4. Versuchsaufbau, Testumgebung und Aufgabe

Der Versuchsaufbau besteht aus zwei autarken PC-Systemen (Windows-Betriebssystem), wobei das erste System die Simulation des Bohrversuches übernimmt, die zweite Anlage für die Verarbeitung der Daten – analog des MCQTI-Regelkreises – zuständig ist. Darüber hinaus befindet sich auf System 2 die Wissensdatenbank sowie die Quelldatenbanken (Material, Tool Performance, Erfahrungswissen). Beide Systeme sind über eine Windows Direktverbindung (cross

over Kabel - beide Systeme im gleichen Netzwerksegment) miteinander verbunden. Die Performance der Netzwerkverbindung ist für den Systemtest ausreichend; alternativ wäre eine Sternverkabelung über Gateway und Hub denkbar, bei der evtl. Performance Verlusten zu erwarten wären.

Das Protokoll ist TCP/IP. Bei Bedarf könnte man auf das UDP (User Data Protocol) ausweichen, um einen größeren Datendurchsatz zu gewährleisten. Dabei ist zu beachten, dass eine Prüfziffernfolge mitgesendet wird, um die Datenintegrität zu gewährleisten. Das Protokoll fungiert als Unicast Modell, d.h. die Daten sind nur für einen Empfänger bestimmt und arbeitet im halb-duplex Verfahren (Daten fließen abwechselnd in beide Richtungen).

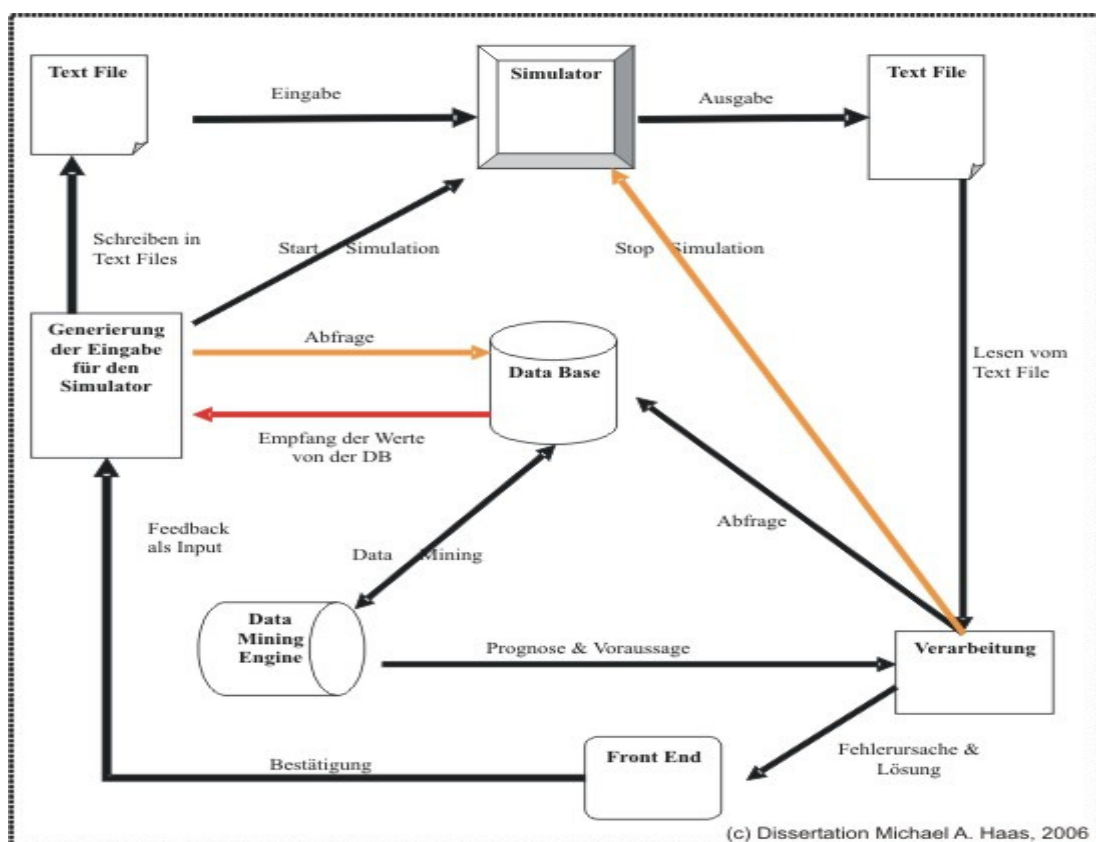


Abb. 90 : Systemaufbau MCQT1

In Abbildung 90 wird das Systemmodell und Datenfluss im Zusammenhang dargestellt.

Die Einzelschritte: Der Simulator generiert eine Ausgabe als Textfile. Diese gelangt über das zuvor beschriebene Protokoll in die Verarbeitungsebene. Im Hintergrund von Abbildung 91 ist das permanent gelesene Textfile ersichtlich.



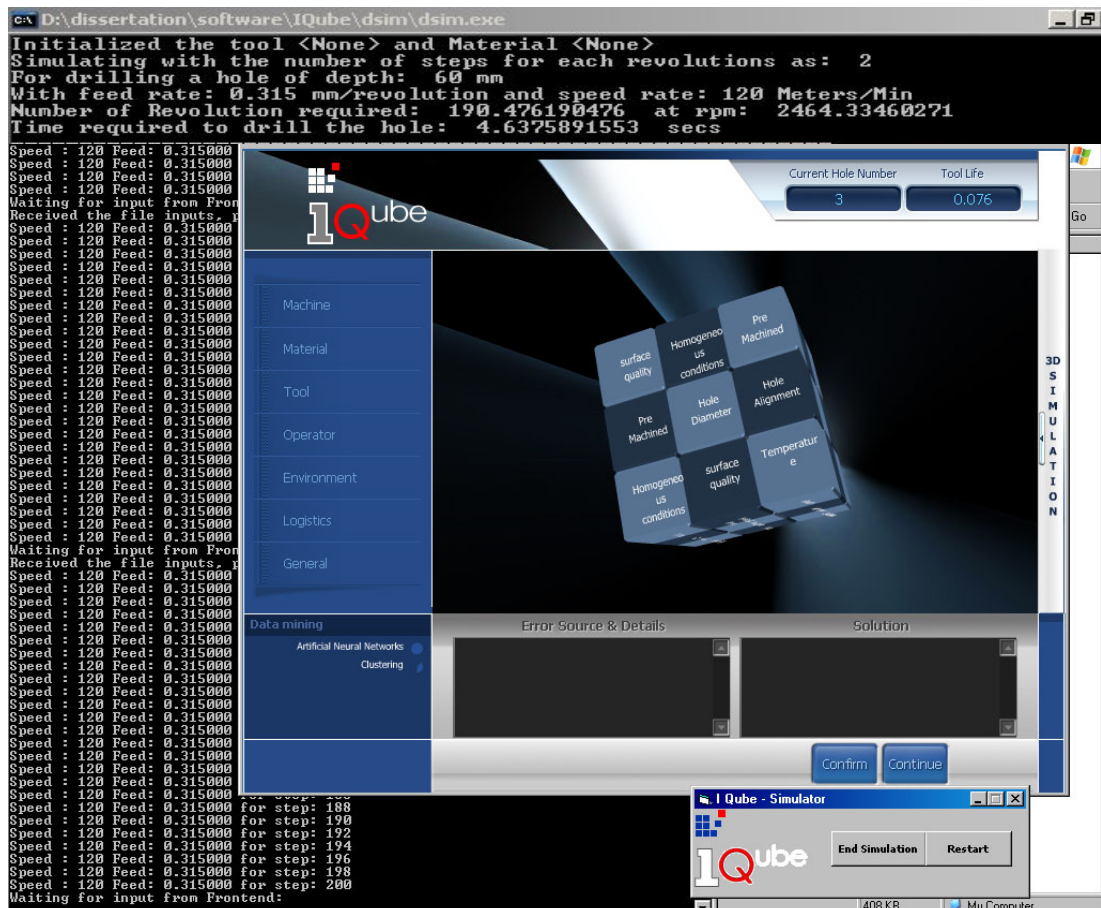


Abb. 91: Textfile- Übergabe der Parameter an das System

Innerhalb dieser Verarbeitung wird die Wissensdatenbank nach vergleichbaren Parameterkonstellationen (Mustern) abgefragt. Bei kritischen Konstellationen kann die Simulation angehalten werden. Der MCQTI-Regelkreislauf wird gestartet, das Ergebnis gelangt wieder in die Verarbeitungsebene und wird an das Front End (IQube) weitergeleitet. Von dort aus werden die Daten nach einem Abgleich mit dem Regelwerk der Wissensdatenbank – zur Steuerung des nächst möglichen Prozesses – an die Simulation übergeben.

## 9.5. Störungsanalyse

Im Rahmen der Modellsimulation werden bei auftretenden Anlagenstörungen zuvor erwähnte definierte Stops gesetzt. Diese Störungen in den Parameterkonstellationen treten entweder mittels Zufallsvariable auf, oder sind definiert gesetzt. Dabei werden sie in verschiedenen Prioritäten kategorisiert. Diese

sind wie folgt: (1) kritische Alarmer, (2) Fehler, (3) Hinweise, Instandhaltungsinformationen. Es ist stand der Technik, für die Störungsanalyse Diagnosewerkzeuge einzusetzen. Dabei verwendete Verfahren, wie signalgestützte Überwachung, modellgestützte Überwachung, oder Expertensysteme, liegt immer die gleiche, grundlegende Schrittfolge der Diagnose zugrunde. Diese sind Fehlerdetektion, Fehlerlokalisierung und Fehlerursachenbestimmung. Im Rahmen des MCQTI-Regelkreislaufs sind diese Schrittfolgen integrativer Bestandteil.

## **9.6. MCQTI-Regelkreis und Phasenmodell**

Der MCQTI-Regelzyklus stellt einen, in sich abgeschlossenen, Prozess dar. Bis zum Prozessende werden somit keine Informationen aus dem System heraus abgezeigt. Konkret bedeutet dies, dass nach der Übergabe der Parametermuster aus der Simulation, die nächste und einzige Ausgabe am Ende des Zyklus über den IQube erfolgt. Zur besseren Illustration wird im Folgenden dieser Zyklus im Debug Modus gestartet und somit definiert unterbrochen sowie Ausgaben zu jeder Phase des Prozesses abgefordert. Für einen konkreten Regelkreislauf stehen somit Liftcharts, Scatterplots sowie detaillierte Auswertungsgrafiken zur Verfügung.

Der MCQTI-Regelkreislauf erfolgte am trainierten System. Beziehungswissen, Abhängigkeiten der Parameter zueinander und eine ausreichende Anzahl (>200) an Parameterkonstellationen (Mustern) mit ihren zugehörigen Standwegen sind bereits im System hinterlegt.

### **9.6.1. Diagnose-Phase der Parameterkonstellation**

Beginnend mit der Phase 1, Prozessdiagnose mittels eines Neuronalen Netzwerkes, wird die eingehende Parameterkonstellation zuerst mit dem bisherigen Referenzmuster verglichen. Anschließend wird in der Datenbank nach ähnlichen Mustern gesucht und diese mit dem aktuellen verglichen. Abbildung 92 zeigt anhand des Liftcharts, dass das aktuelle Muster nicht dem Referenzmuster entspricht.

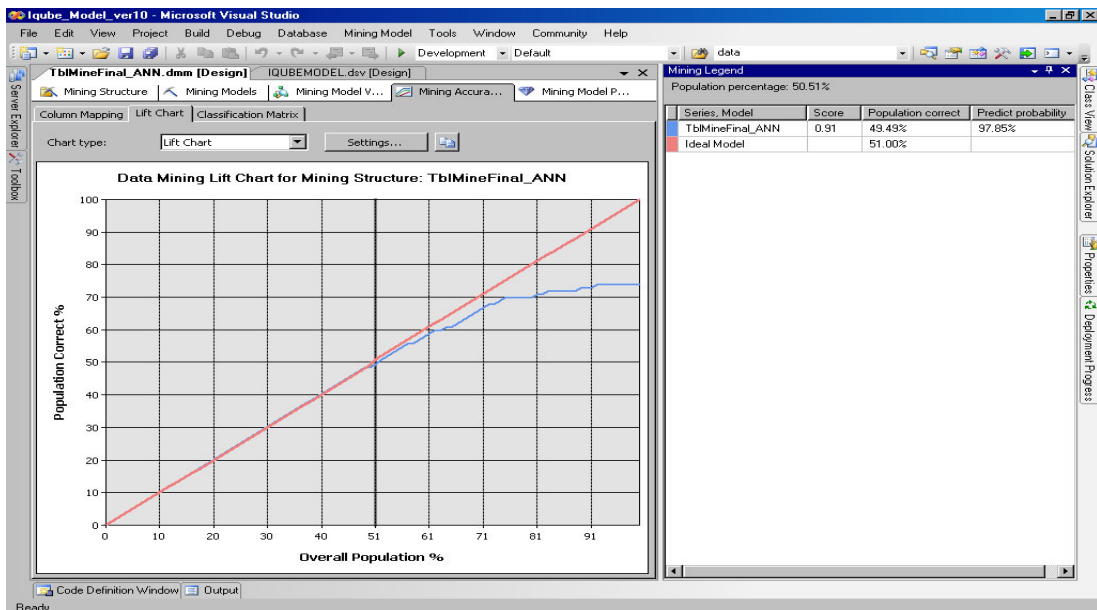


Abb. 92: Liftchart, Vergleich Referenzmuster zu aktuellem Muster

Dies hat zur Folge, dass die neue Parameterkonstellation zuerst einmal nicht besser bewertet wird, als das Referenzmuster. In einem zweiten Schritt werden nun vergleichbare Muster zu diesem aktuellen Muster herangezogen und verglichen. Dabei werden die kritischen Parameter aus dem Muster auf Ausreißer anhand von Mittelwert, Standardabweichung und Varianzanalyse untersucht. Das dazu gehörende Scatterplot zeigt das Parameterfeld mit der Regressionsgeraden (vgl. Abbildung 93).

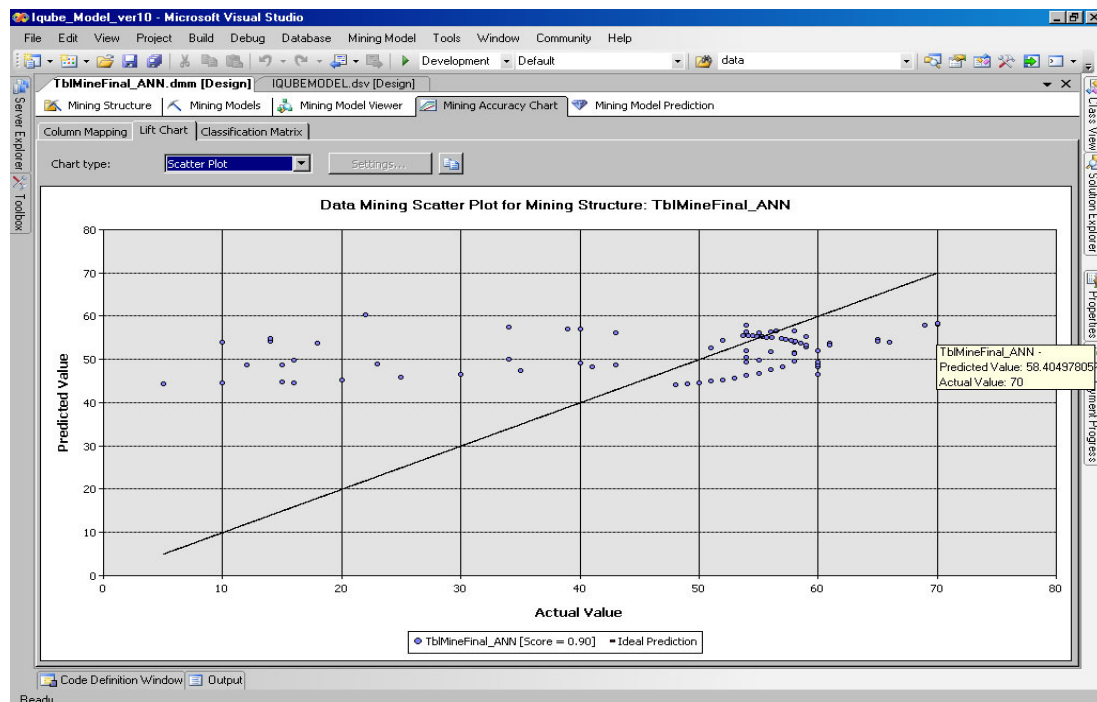


Abb. 93: Scatterplot, aktuelles Muster

Die detaillierte Analyse des aktuellen Musters ergab das Beziehungsdiagramm, welches in nachfolgender Grafik dargestellt ist (vgl. Abbildung 94).

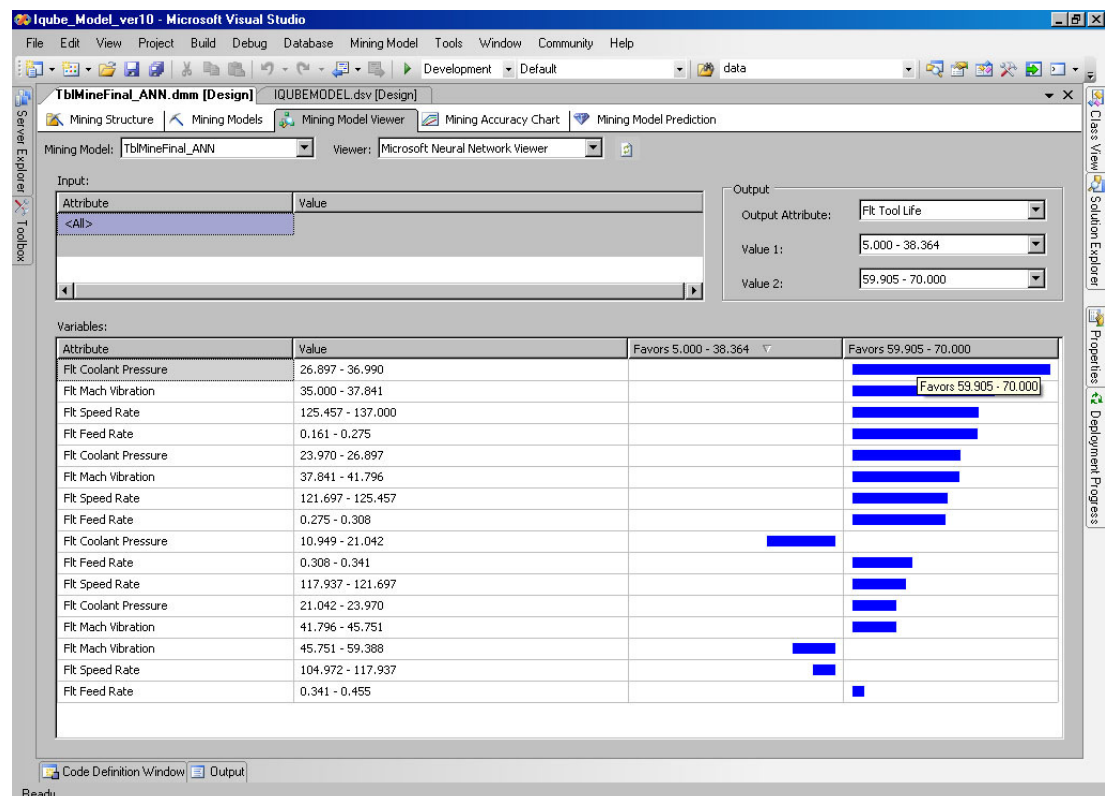


Abb. 94: Beziehungsdiagramm, aktuelles Parameternmuster

Daraus ist ersichtlich, dass der Kühlmitteldruck, die Anlagenvibration sowie die Schnittgeschwindigkeit des aktuellen Musters einen Werkzeugstandweg kleiner 39m unterstützt, bzw. zur Folge hätte. Es besteht für das System somit „Handlungsbedarf“. Verglichen wurde das aktuelle Parameternmuster mit einem Vergleichsmuster der Datenbank, welches die größtmögliche Übereinstimmung mit dem aktuellen Muster besitzt. Ferner ist zu erkennen, dass bei einer Veränderung der oben beschriebenen Parameter in einen anderen Bereich (vgl. Abbildung 96) ein Werkzeugstandweg im Bereich von 59,905 m bis 70,000 m möglich wäre.

Diese drei, als kritisch definierten Parameter, werden nunmehr in die Phase zwei des MCQTI-Regelkreislaufes zusammen mit dem dazu gehörenden Parameternmuster übergeben.

## 9.6.2. Optimierung-Phase des Modells

In Phase zwei wird zuerst ein Abbild der gesamten Parameterkonstellation im System erzeugt (vgl. Abbildung 95). Dies bildet die Basis für die anschließende Clusteranalyse, bei der die Parameter gruppiert werden und spezifisch – aus Phase 1 – anhand ihrer Abhängigkeiten analysiert werden.

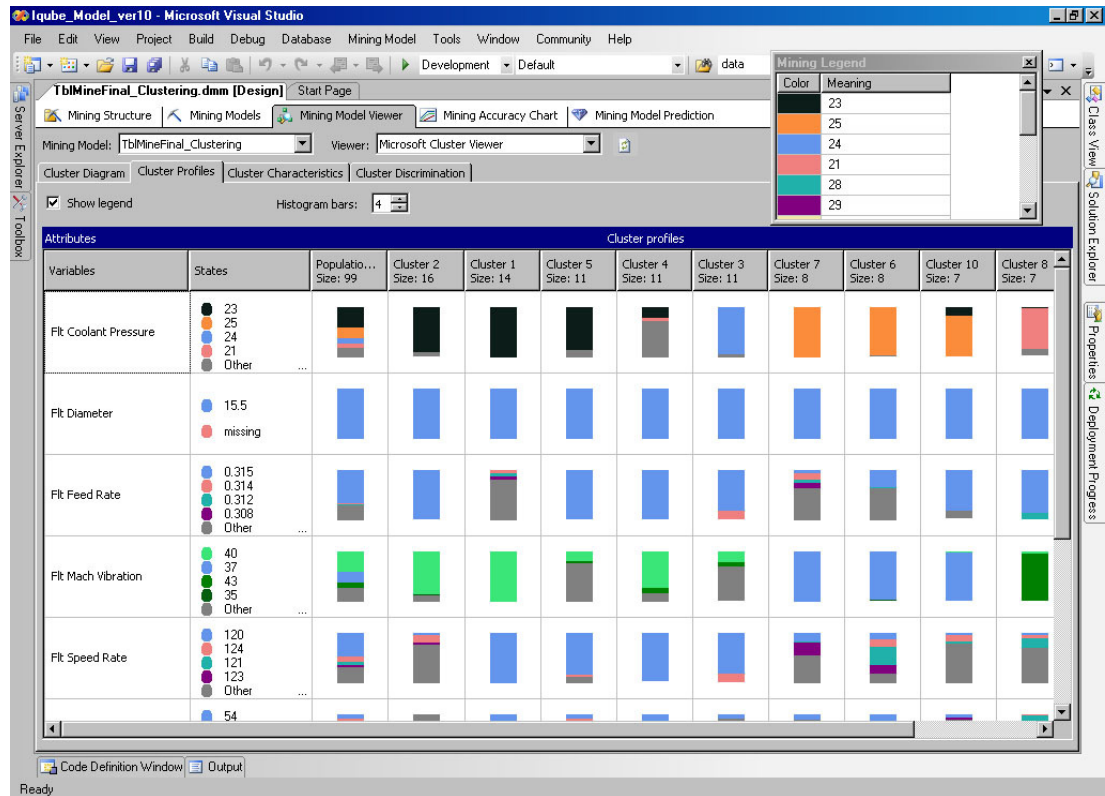


Abb. 95: Clusteranalyse im Detail

In Abbildung 95 ist ersichtlich, in welchen Clustern, welche Wertekombination der Parameter zusammengefasst sind. Dabei sind die Cluster so gebildet, dass alle Clustermittglieder einen gemeinsamen Werkzeugstandwegsbereich unterstützen. Somit erhält man die Aussage bzw. das Ergebnis, welches Cluster einen großen Werkzeugstandweg und welche Cluster einen geringeren Werkzeugstandweg unterstützen. Letztere werden optimiert. Folgende Abbildung zeigt das Liftchartdiagramm des Clusters 6 mit dem geringsten Werkzeugstandweg (vgl. Abbildung 96).

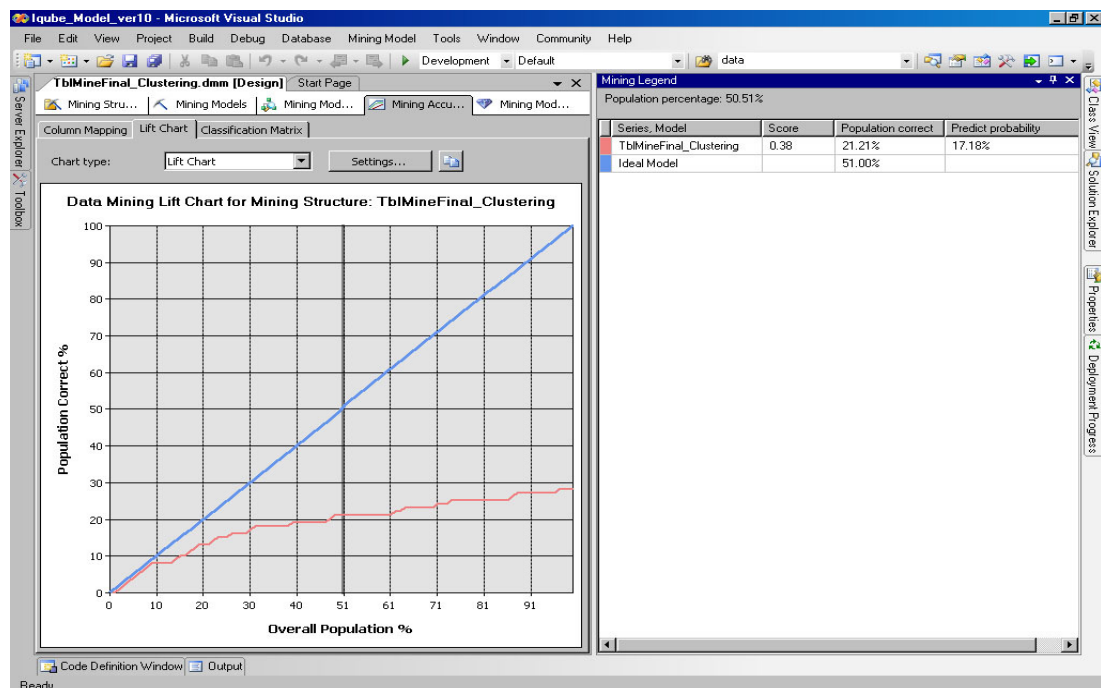


Abb. 96: Liftchart für Cluster 6

Cluster 6 weist eine schwache Ausprägung der Parameter Schnittgeschwindigkeit, Kühlmitteldruck und eine starke Ausprägung des Parameters Maschinenvibration aus. Ersichtlich ist dies auch an der Clusterdarstellung, vgl. Abbildung 97.

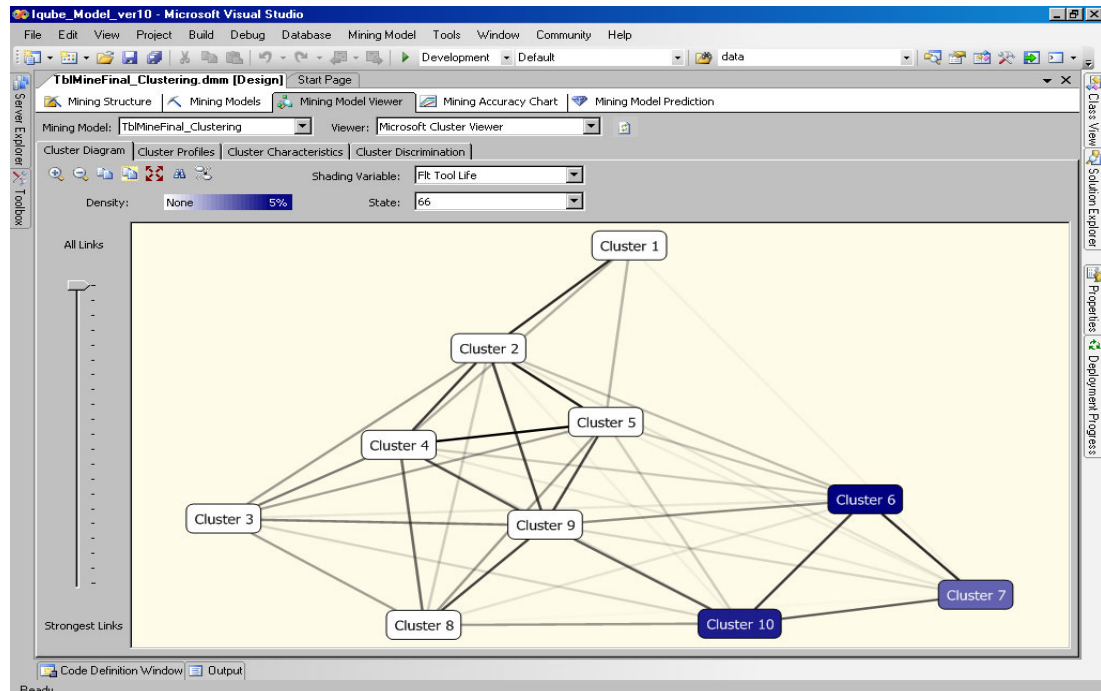


Abb. 97: Clusterbeziehungen 6,7,10

Wie dieses Schaubild zeigt, weist das Cluster 6 eine starke Abhängigkeit zu den Clustern 7 und 10 aus.



Die Cluster 7 und 10 haben ebenfalls Mitglieder mit geringem Kühlmitteldruck, jedoch ist die Vorschubrate sowie die Schnittgeschwindigkeit dem angepasst. Der Werkzeugstandweg ist deshalb deutlich höher als bei Cluster 6, was sich in der Clusterbildung widerspiegelt. D.h. die Elemente aus Cluster 7 und 10 bilden eigene Cluster.

Die folgende Abbildung veranschaulicht nochmals das analysierte Parametermuster zusammen mit den Vergleichswerten in ihren Wahrscheinlichkeitsfaktoren, basierend auf den Häufigkeitsausprägungen.

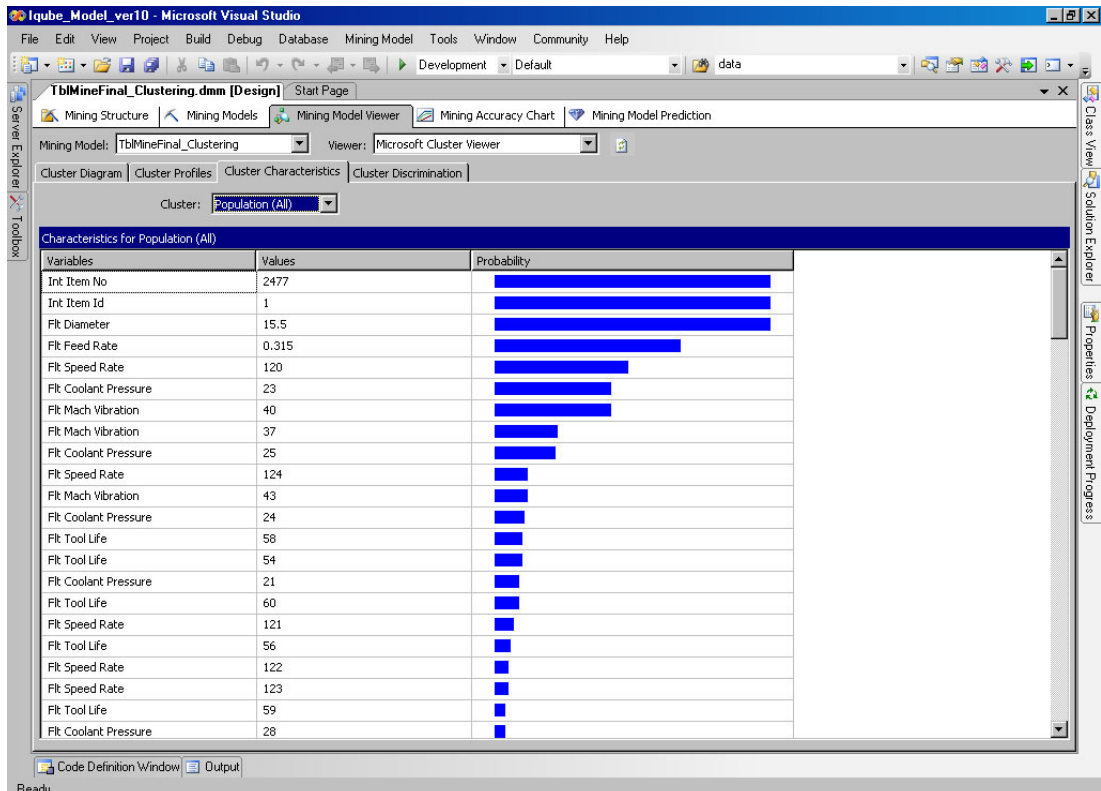


Abb. 98: Parametermuster, Wahrscheinlichkeiten

Somit werden nunmehr Schnittgeschwindigkeit und Kühlmitteldruck sukzessive erhöht. Diese Regelparameter werden erzeugt und in Phase drei des MCQTI-Systems übergeben. Der Regelbereich der beiden Parameter ergibt sich aus den jeweiligen Vergleichsmustern, i.d.R. +/- 5% des Wertes, jedoch immer innerhalb des Toleranzfeldes des Parameters. Konkret wird die Schnittgeschwindigkeit von 117,4 auf 123,3 m/min und der Kühlmitteldruck von 21 auf 22 bar erhöht. Der Parameter Maschinenvibration hat ein „nur lese“-Attribut und kann nicht geregelt werden. Somit stellt er einen resultierenden Parameter dar, er kann jedoch durch das Ursache-Wirkungsbeziehungsnetz des Quality Networkings beeinflusst werden. In der Wissensdatenbank ist basierend auf der vorangegangenen Trainingsphase hinterlegt,

dass die Maschinenvibration durch den Kühlmitteldruck und die Spindeldrehzahl beeinflusst wird. Somit sind die beiden Regelparameter definiert. Die zu erwartende Vergrößerung des Werkzeugstandweges wird in Phase 3 analysiert.

### 9.6.3. Prognose der Parameter

Bei einem Vergleich mit dem Muster der größten Übereinstimmung und dessen Entwicklung ergab sich eine Tendenz, die sich bei der auf Phase 2 beschriebenen Anpassung ergeben würde (vgl. Abbildung 99).

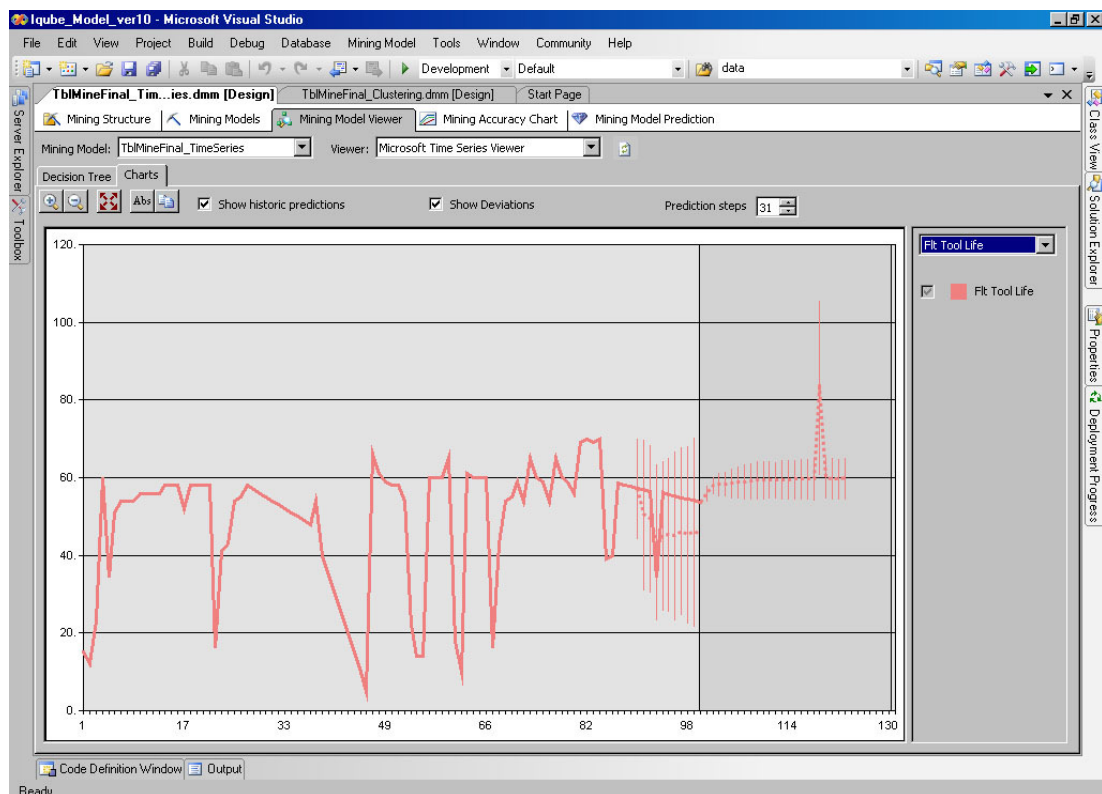


Abb. 99: Prognose Werkzeugstandweg nach Optimierung.

Daraus ist ersichtlich, dass der zuvor angenommene Werkzeugstandweg (Vergleich geeigneter Parameterkonstellationen aus der Datenbank), nunmehr erzielt wird durch die Modifikation der beiden Parameter Kühlmitteldruck und Schnittgeschwindigkeit.



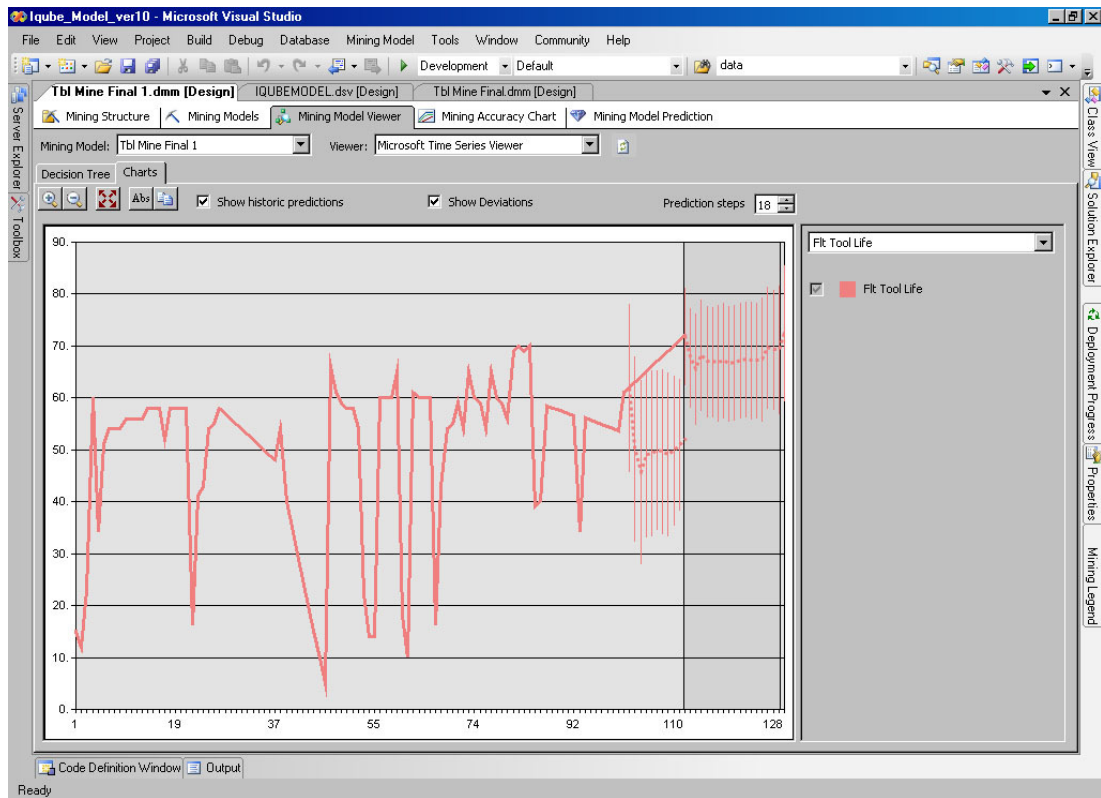


Abb. 100: Variation des Kühlmitteldruckes

Ferner wurde im Rahmen der Prognosephase festgestellt, dass die Variation des Kühlmitteldruckes, während der Leerlaufbewegungen der Schleifspindel, der Werkzeugstandweg beeinflusst wird. Konkret ergab die Analyse, dass bei sinkendem Kühlmitteldruck für die Prozessphase, ohne direkten Werkzeugeinsatz, ein deutlich größerer Standweg zu erzielen ist.

Die MCQTI / Phase drei hat diesbezüglich einen durchschnittlichen Standweg von 72,63m prognostiziert. Abbildung 100 veranschaulicht diese Prognose.

Beiden Ergebnisse werden in die Phase vier des Kreislaufes übergeben und untersucht, in wie weit sie regelgestützt sind.

Dabei würde die Anpassung durch die Parameter Schnittgeschwindigkeit und Kühlmitteldruck eine Optimierung des vorliegenden Bohrprozesses, die alleinige Modifikation des Kühlmitteldruckes während des Bearbeitungszeitraumes eine Wissensgenerierung darstellen.

#### 9.6.4. Kontrolle der prognostizierten Werte

In der vierten Phase des MCQTI-Regelkreislaufes werden zunächst die übernommenen Zusammenhänge aus den zuvor abgespeicherten Regeln überprüft. Dabei resultiert ein Ursache- Abhängigkeitsdiagramm, analog Abbildung 101.

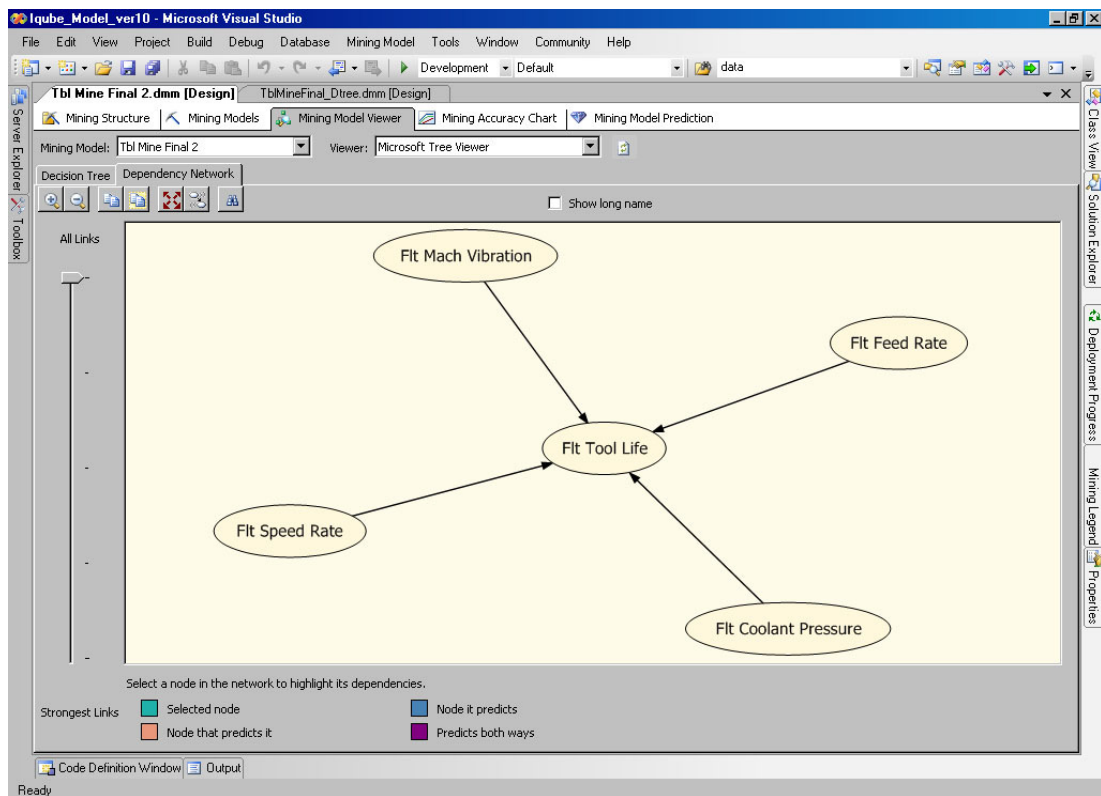


Abb. 101: Ursache- Abhängigkeitsdiagramm, Werkzeugstandweg.

Die zuvor getroffene Annahme, basierend auf den bisher gespeicherten Abhängigkeiten, dass Maschinenvibration, Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Kühlmitteldruck die determinierenden Parameter des Werkzeugstandweges sind, wurde regelbasiert, mittels eines Entscheidungsbaumes bestätigt.

Anschließend werden die Einflussfaktoren gewichtet und mit konkreten Werten hinterlegt. Resultierend erhält man einen Entscheidungsbaum, der unter Abbildung 102 grafisch dargestellt ist.

Daraus ersichtlich ist die zuvor bereits gefundene Regel zur Standwegsmaximierung, wonach durch Erhöhung sowohl der Schnittgeschwindigkeit als auch des Kühlmitteldruckes eine Vergrößerung des Standweges zu erzielen ist. Darüber hinaus ist die Abhängigkeit der Maschinenvibration von der Schnittgeschwindigkeit dargestellt.



Somit gilt die Verbesserung als geprüft und wird in die Wissensdatenbank übernommen. Die Ursache Wirkungsbeziehung, analog der Quality Networking Annahme, hat sich bestätigt und kann an das Frontend übergeben werden. Der MCQTI-Regelkreislauf wird nun zum nächst möglichen Prozessbeginn der Steuerungswerte an die Simulation respektive die Anlage übergeben.

Hinsichtlich der Wissensgenerierung bezüglich der Variation des Kühlmitteldruckes bedient sich die Phase vier des Kreislaufes der aufgezeichneten Druckverläufe in Relation zum Werkzeugstandweg aus dem Eingangs beschriebenen Analysetableau.

Hierbei werden die Kühlmitteldrücke dem Standweg gegenübergestellt und Vergleiche mit Parametern aus der Wissensdatenbank herangezogen. Eine diesbzgl. Auswertung ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

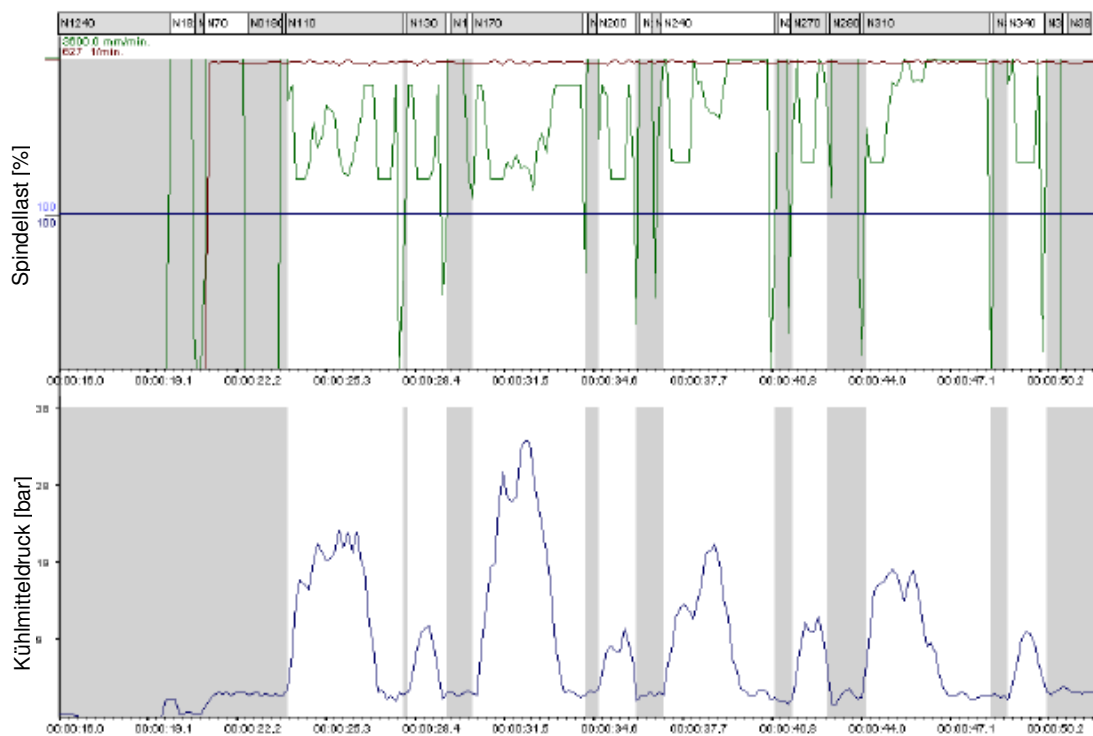


Abb. 104: Diagramm Kühlmitteldruck zu Spindellast

Daraus ersichtlich ist, dass bei variabel anliegendem Kühlmitteldruck eine Spindellast anliegt, was bedeutet, der Kühlmitteldruck wurde über Parameter während des Prozesses gesteuert. Der resultierende Standweg betrug 72,63m und war somit größer als bei einem Vergleichsprozess, bei dem der Kühlmitteldruck nicht variiert wurde.

Diese neue Regel konnte durch den MCQTI-Prozess im ersten Durchlauf nicht bestätigt werden, da diesbzgl. eine zu geringe Datenbasis vorhanden war. Durch Simulation des Szenarios konnte die Annahme jedoch mehrmals erfolgreich über

das System erzeugt werden und letztlich als Regel in der Wissensdatenbank übernommen werden. In einem nachgelagertem Realversuch konnte die neue Regel validiert und bestätigt werden.

#### 9.6.5. Visualisierung der Ergebnisse des Regelkreises

Die Visualisierung der Prozessschritte und Ergebnisse wird über das Front End realisiert. Dieses hat die Bezeichnung iQube (intelligenter Würfel – Q, qualitätsorientiert). Darin werden die Ursache- Wirkungsbeziehungen abgebildet. Veranschaulicht wird diese Lösung in nachstehender Abbildung 105.

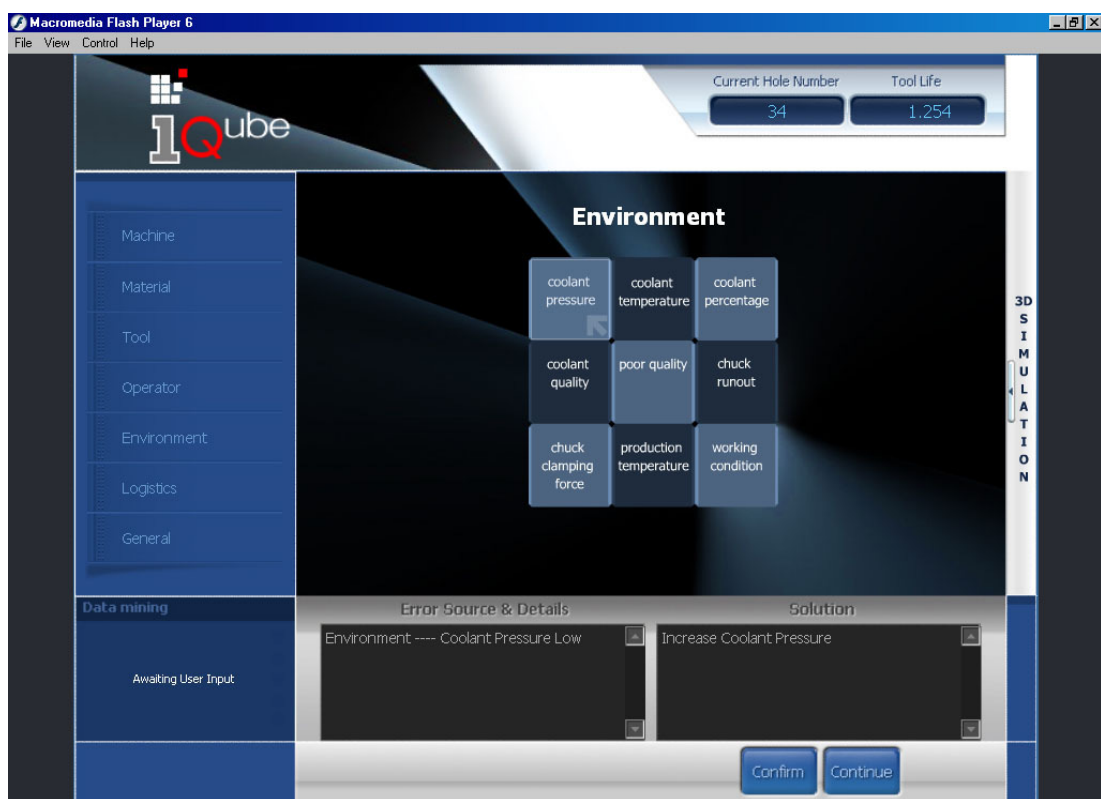


Abb. 105: Benutzerschnittstelle, IQUBE

IQube besteht aus einem sechsseitigen Körper (Würfel) analog zu den definierten Qualitätsbereiche (QB) vgl. Punkt 6.2ff. Jeder QB visualisiert in der Grundkonfiguration 9 Parameter, die zeitgleich dargestellt werden können. Entsteht eine kritische Parameterkonstellation mit einem Parameter, der nicht Element der Grundkonfiguration ist, wird ein zuvor bestimmter Parameter der entsprechenden Seite (Platzhalter) durch den kritischen Parameter selbstständig ausgetauscht. Somit ist sichergestellt, dass alle relevanten Parameter gleichzeitig über die IQube Lösung dargestellt werden können. Darüber hinaus ist es dem Benutzer jederzeit

möglich, durch Markieren eines beliebigen Feldes (Machine, Material, Tool, Operator, Environment, Logistics oder General), sämtliche Parameter online zu überwachen. Die IQube (Front End)-Lösung ist die Benutzer Schnittstelle zum MCQTI-Regelkreislaufes.

## 9.7. Auswertung der Ergebnisse

Nach Auswertung der Durchläufe des MCQTI-Regelzykluses ergab sich die im Folgenden dargestellte Lernkurve bzgl. der Werkzeugstandwegverbesserungen. Ausgangsbasis dabei bildete der Standweg aus der Trainingsphase mit durchschnittlich 59,78m. Protokolliert wurden innerhalb des MCQTI-Qualitätsregelkreises Veränderungen am Kühlmitteldruck, konkret Verringerung des Druckes während der Eilgangphase und Erhöhung des Druckes während der Zerspanungsphase. Die Schnittgeschwindigkeit während der Werkstückbearbeitung wurde um durchschnittlich +/- 4,3% variiert. Diese Prozessoptimierung führte zu einer Standwegverlängerung in der zuvor beschriebenen Applikation um 21,5%. Das Optimum wurde mit 72,63m erzielt. Nachstehende Abbildung 106 verdeutlicht diesen Optimierungsprozess anhand einer Kurve.

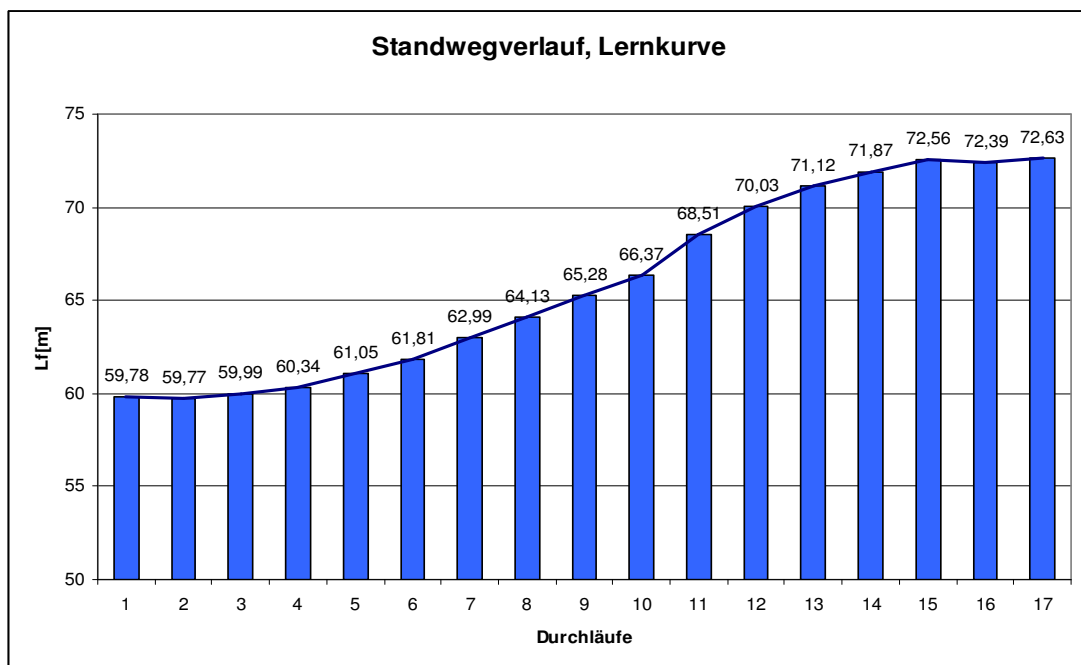


Abb. 106: Standwegverlängerung, Lernkurve aus Applikationen.

Gegenprüfung der Erkenntnis unter realen Bedingen ergab eine Erhöhung des Standzeitweges des Werkzeuges von 60,56 m auf 72,42 m. Dies entspricht einer

Verbesserung von 19,3%. Grund für die Abweichung zwischen den Ergebnissen sind Feinjustierungen, die im Rahmen der Gegenprüfung, manuell nicht genauer vorgenommen werden können.

## **9.8. Quality Networking Erkenntnisse**

Basierend auf der zuvor beschriebenen Bohr- Bearbeitungsaufgabe sind die im Folgenden dargelegten QN Erkenntnisse festzuhalten:

- 1) Eine Standzeitverlängerung des Werkzeuges in dieser Applikation um 21,5% bei Variation des Kühlmitteldruckes und der Schnittgeschwindigkeit.
- 2) Komplexe Ursache- Wirkungsbeziehungen des Qualitätsnetzes wurden erkannt. Diese Regeln bestätigen durch ihre Qualitätsbereichs – übergreifende Ursache- Wirkungsbeziehungen die Theorie des Quality Networkings und wurden in die Wissensdatenbank übernommen.
- 3) Einem vorzeitigem Ausbruch der Schneidecke an der Hauptschneide kann mit einer Reduktion der Schnittgeschwindigkeit entgegengewirkt werden.
- 4) Einem vorzeitigem Verschleiß an der Querschneide des Werkzeuges kann mit einer Reduktion der Vorschubgeschwindigkeit entgegengewirkt werden.
- 5) Ein zu langer Span kann durch Reduktion der Schnittgeschwindigkeit bei gleichem Vorschub gekürzt werden.
- 6) Ein zu langer Span kann durch Erhöhung des Kühlmitteldruckes gekürzt werden.
- 7) Schlechter Spanabfluss kann durch Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit bei gleich bleibender Schnitt-geschwindigkeit verbessert werden.
- 8) Durch Erhöhung des Kühlmitteldruckes kann der Spanabfluss ebenfalls verbessert werden.

- 9) Werkzeugbruch an der WZ-Spitze ist oftmals auf mangelnde Spanabfuhr zurückzuführen. Durch Erhöhung der Spanabfuhr wird dies vermieden.
- 10) Schlechte Oberflächenqualität in der Bohrung ist durch Reduktion der Schnittdaten (Vorschub) zu verbessern.
- 11) Aufbauschneidenbildung wird verlangsamt durch Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit.
- 12) Verschleiß an der Freifläche des Bohrwerkzeuges wird hervorgerufen durch einen zu geringen Vorschub.
- 13) Rundlauffehler und Schneideckenausbrüche stehen in Korrelation. D.h. Rundlauffehler verursachen u.a. Schneideckenausbrüche.
- 14) Ursache für den Verschleiß auf dem Werkzeugrückten kann ebenfalls von einem zu großer Rundlauffehler sein.
- 15) Verformungen an Schneidecken sind ursächlich durch zu geringe Kühlmittelmenge (Volumen, Druck) bedingt.

Das gesamte Regelwerk wird im Folgenden dargestellt. Die Testaufgabe wurde vollumfänglich gelöst. Wiederholte Testläufe mit veränderten Rahmenbedingungen und Parametern führen jeweils zu analogen Ergebnissen. Damit wird die Funktionstüchtigkeit des MCQTI Regelkreis-Systems und Effizienz der darin angewandten Methoden bestätigt.

Eine Steigerung des Werkzeugstandweges um 21,5% gegenüber dem Standweg der Trainingsphase kann als Bestätigung dessen angesehen werden.



1	Bohrer	Schneidecke	Ausbruch		Schnittdaten	Einsatz	Schnittgeschwindigkeit verringern (Vc kleiner)	Maschinenbediener
2	Bohrer	Querschneide	Verschleiss		Schnittdaten	Einsatz	Vorschub verringern (F kleiner)	Maschinenbediener
5	Bohrer	Span	Zu lang		Schnittdaten	Einsatz	Schnittgeschwindigkeit reduzieren bei gleichem Vorschub pro min. Der Span wird dicker pro Umdrehung, die Ablaufgeschwindigkeit des Spans kleiner. --> Führt i.d.R. zu kurzen Spänen	Maschinenbediener
6	Bohrer	Span	Zu lang		Kühlmitteldruck	Einsatz	Kühlmitteldruck erhöhen. Ein hoher Druck kann den Span abreißen. Er kann jedoch auch den Span von der Schneide wegziehen, was zu einem langen Span führt	Maschinenbediener
7	Bohrer	Span	Zu lang		Spanbrecher	Einsatz	Spanbrecher vorsehen. Diese Maßnahme verursacht immer Kosten.	Produktion
10	Bohrer	Span	Abfluss		Schnittdaten	Einsatz	Vorschub erhöhen, damit Span schneller abfließt	Maschinenbediener
12	Bohrer	Span	Abfluss		Kühlmitteldruck	Einsatz	Kühlmitteldruck erhöhen; damit der Span durch den erhöhten Druck schneller aus der Bohrung kommt.	Maschinenbediener
13	Bohrer	Schneidteil	Bruch		Span	Einsatz	WZ Bruch, da langer Span, der nicht abgeflossen ist und deswegen verkeilt hat. WZ Bruch. Lsg: Spanabfluss erhöhen.	Maschinenbediener
14	Bohrer	Schneidteil	Bruch		Schnittdaten	Einsatz	Schnittgeschwindigkeit reduzieren bei starkem Freiflächenverschleiß.	Maschinenbediener
17	Bohrer	Span	Zu lang		Schnittdaten	Einsatz	Vorschub= 1% von Nenndurchmesser und +/- 0,01 bis 0,03 Feinjustierung des Vorschubs.	Produktion
18	Bohrer	Bohrung	Bohrungs-qualität		Schnittdaten	Einsatz	Qualitätsbohrung --> Reduktion der Schnittdaten	Maschinenbediener
22	Bohrer	Schneide	Aufbauschneide		Schnittdaten	Einsatz	Schnittgeschwindigkeit zu klein; Schnittgeschwindigkeit erhöhen	Maschinenbediener
25	Bohrer	Schneidecke	Ausbruch		Aufspannung	Einsatz	instabile Verhältnisse; Werkstückspannung ungenügend; Werkstück stabiler spannen	Maschinenbediener
26	Bohrer	Schneidecke	Ausbruch		Rundlauf	Einsatz	Rundlauffehler zu gross; Rundlauf kontrollieren, wenn möglich korrigieren	Produktion
27	Bohrer	Schneidecke	Ausbruch		Unterbrochener Schnitt	Einsatz	Vorschub zurücknehmen	Maschinenbediener

28	Bohrer	Freifläche	Verschleiss		Schnittdaten	Einsatz	Schnittgeschwindigkeit zu gross; Schnittgeschwindigkeit zurücknehmen	Maschinenbediener
29	Bohrer	Freifläche	Verschleiss		Schnittdaten	Einsatz	Vorschub zu klein; Vorschub erhöhen	Maschinenbediener
30	Bohrer	Freifläche	Verschleiss		Geometrie	Einsatz	Freiwinkel zu klein; Freiwinkel erhöhen	Produktion
31	Bohrer	Schneide	Ausbruch		Aufspannung	Einsatz	instabile Verhältnisse; Werkstückspannung ungenügend; Werkstück stabiler spannen	Maschinenbediener
32	Bohrer	Schneide	Ausbruch		Unterbrochener Schnitt	Einsatz	Vorschub zurücknehmen	Maschinenbediener
33	Bohrer	Schneide	Ausbruch		Überschreitung Verschleißmarkenbreite	Einsatz	Werkzeugwechselintervalle verkürzen	Maschinenbediener
34	Bohrer	Schneide	Ausbruch		Werkzeugtyp	Einsatz	Falscher Werkzeugtyp; geeignetes Werkzeug verwenden	Maschinenbediener
35	Bohrer	Rundphase	Verschleiss		Aufspannung	Einsatz	instabile Verhältnisse; Werkstückspannung ungenügend; Werkstück stabiler spannen	Maschinenbediener
36	Bohrer	Rundphase	Verschleiss		Rundlauffehler zu gross	Einsatz	Rundlauffehler zu gross; Rundlauf kontrollieren, wenn möglich korrigieren	Produktion
38	Bohrer	Rundphase	Verschleiss		Kühlung	Einsatz	falscher Kühlschmierstoff; zu magere Emulsion; Emulsion fatter machen oder Oel verwenden.	Maschinenbediener
39	Bohrer	Rücken	Riefen		Aufspannung	Einsatz	instabile Verhältnisse; Werkstückspannung ungenügend; Werkstück stabiler spannen	Maschinenbediener
40	Bohrer	Rücken	Riefen		Rundlauffehler zu gross	Einsatz	Rundlauffehler zu gross; Rundlauf kontrollieren, wenn möglich korrigieren	Produktion
41	Bohrer	Rücken	Riefen		Unterbrochener Schnitt	Einsatz	Vorschub zurücknehmen	Maschinenbediener
42	Bohrer	Rücken	Riefen		Werkstoff	Einsatz	Spanlänge reduzieren; Nutenprofil variieren	Produktion
43	Bohrer	Querschneide	Verschleiss		Schnittdaten	Einsatz	Schnittgeschwindigkeit zu klein; Schnittgeschwindigkeit erhöhen	Maschinenbediener
44	Bohrer	Querschneide	Verschleiss		Schnittdaten	Einsatz	Vorschub zu gross; Vorschub zurücknehmen	Maschinenbediener
45	Bohrer	Querschneide	Verschleiss		Geometrie	Einsatz	Hauptschneidenabzug zu groß; Hauptschneidenabzug verkleinern	Produktion
48	Bohrer	Ausspitzung, Hauptschneide	Ausbruch		Werkzeugtyp	Einsatz	Falscher Werkzeugtyp; geeignetes Werkzeug verwenden	Maschinenbediener
49	Bohrer	Schneidecke	Verformung		Schnittdaten	Einsatz	Schnittgeschwindigkeit zu gross; Schnittgeschwindigkeit zurücknehmen	Maschinenbediener
50	Bohrer	Schneidecke	Verformung		Kühlung	Einsatz	Kühlmittelmenge reicht nicht aus; Kühlmittelmenge (Volumen, Druck) erhöhen	Maschinenbediener

52	Bohrer	Bohrung	Mittenversatz		Aufspannung	Einsatz	instabile Verhältnisse; Werkstückspannung ungenügend; Werkstück stabiler spannen	Maschinenbediener
53	Bohrer	Bohrung	Mittenversatz		Rundlauffehler zu gross	Einsatz	Rundlauffehler zu gross; Rundlauf kontrollieren, wenn möglich korrigieren	Produktion
54	Bohrer	Bohrung	Mittenversatz		Anbohren an schräger Fläche	Einsatz	Bohrgrund mit Fräser (2 schneidig) anbringen	Maschinenbediener
55	Bohrer	Bohrung	Mittenversatz		Querschneide	Einsatz	Restquerschneide zu gross; Restquerschneide verkleinern	Produktion
56	Bohrer	Bohrung	Gratbildung		Schnittdaten	Einsatz	Vorschub zu gross; Vorschub zurücknehmen	Maschinenbediener
57	Bohrer	Bohrung	Gratbildung		Verschleiss	Einsatz	Maximale Verschleißmarkenbreite überschritten; Werkzeugwechselintervalle verkürzen	Maschinenbediener
58	Bohrer	Bohrung	Gratbildung		Geometrie	Einsatz	Hauptschneidenabzug zu gross; Hauptschneidenabzug verkleinern	Maschinenbediener
59	Bohrer	Bohrung	Oberfläche		Aufspannung	Einsatz	instabile Verhältnisse; Werkstückspannung ungenügend; Werkstück stabiler spannen	Maschinenbediener
60	Bohrer	Bohrung	Oberfläche		Rundlauffehler zu gross	Einsatz	Rundlauffehler zu gross; Rundlauf kontrollieren, wenn möglich korrigieren	Produktion
61	Bohrer	Bohrung	Oberfläche		Kühlung	Einsatz	Kühlmittelmenge reicht nicht aus; Kühlmittelmenge (Volumen, Druck) erhöhen	Maschinenbediener
135	alle Werkzeuge		Verschleiss		Geometrie	Einsatz	Schneidengeometrie dem zu bohrenden Material anpassen.	Produktion
136	alle Werkzeuge		Verschleiss		Kühlschmierstoff	Einsatz	Kühlschmierstoff und Druck prüfen.	Maschinenbediener
137	alle Werkzeuge		Verschleiss		Schnittdaten	Einsatz	Bei Spänen mit Anlaßfarben Schnittdaten reduzieren bzw. überprüfen.	Maschinenbediener
139	alle Werkzeuge		Verschleiss		Schnittdaten	Einsatz	Schnittgeschwindigkeit (vc) anpassen	Maschinenbediener
140	alle Werkzeuge	Schaft	Geometrie		Rundheit des Schaftes	Einsatz	Überprüfen, ob Schaft auf h6 geschliffen ist (falls erforderlich); Rundlauf des Schaftes überprüfen.	Produktion
141	alle Werkzeuge		Verschleiss		Vorschub	Einsatz	Vorschub anpassen (f)	Maschinenbediener

## 10. Zusammenfassung

Prozesse in Fertigungsunternehmen sind durch komplexe Vernetzungen geprägt. Qualitätsmanagement als Querschnittsfunktion muss dieser zeitgemäßen Organisationsstruktur folgen. Leitlinien hierzu sind in der Qualitätsnorm DIN/ISO 9000 vorgezeichnet. System-, prozess- und mitarbeiterorientierte Qualitätsführung, die Prinzipien Fehlervermeidung, kontinuierliches Lernen und Verbessern stehen im Fokus. Das vorgestellte Qualitätssteuerungssystem folgt diesen Leitlinien und mit QUALITY NETWORKING den vernetzten Strukturen.

Fertigungsbetriebe praktizieren im status quo einstufige vertikale Prozess-Integration. Diese umfasst Makro-Prozesse auf der Leit - und Planungsebene und dispositive Prozesse auf der Ressourcen- Ebene im PRK1. Zur Qualitätssteuerung im Prozessregelkreis 1 stehen bewährte Qualitäts-Techniken zur Verfügung. Der eigentliche Bearbeitungsprozess ist in den PRK1 nicht eingebunden und wird deshalb von der Qualitäts- Zielsteuerung nicht erreicht.

Hierzu wird als erster Schritt vorgeschlagen, das vertikale Prozessorganisations-Modells in die Prozessebene zu vertiefen und damit den Regelkreis 2 in das vertikale Prozessintegrationsmodell einzuführen. Kontinuierliche Qualitätsverbesserung im Regelkreis 2 (PRK2), ist die Aufgabe, die dem Methodensystem zur Lösung gestellt wird. konkret: Echtzeit Optimierung schnell- laufender Bearbeitungsprozesse - unter Berücksichtigung im PRK2 bestehender Neben- und Umfeldbedingungen.

PK2 Prozesse sind von kurzzyklischen, nicht linearen wechselseitigen Parameter-Beziehungen charakterisiert. Derartige Prozesse sind mit gebräuchlichen Qualitätstechniken und mathematisch- statistischen Modellen nur unzulänglich zu analysieren, jedoch in Netzwerk-Topologie abzubilden und mit innovativen Data Mining Methoden zu behandeln.

Das mit Elementen aus dem Data-Mining Verfahrenskanon konfigurierte System bildet das Prozessgeschehen ab, entdeckt Zusammenhänge und Regeln, die erklären, wie dynamische Fertigungs-Prozesse mit nicht-linearen Parameterbeziehungen in kausalen Zusammenhängen ablaufen und real-time optimiert werden können. Die Selbstlernfähigkeit des Methodensystems ist von besonderer Bedeutung.

Diesbezügliche Systeme sind im Qualitäts- Engineering bisher nicht bekannt.

Stand der Technik zum kontinuierlichen Prozessmonitoring im PRK2 wurde im Kapitel 3 dargestellt.

Kontinuierliches Prozessmonitoring, von im PRK2 erfasst Prozessdaten, in eine Prozessdatenbank ist Ausgangspunkt der Lösung. Aus der PzDB wird mit der KDD-Methodologie ein konsistentes Datenmodell (Analyse-Tableau) aufgebaut. In den Datenbanken sind Ressourcen (Modell-) Parameter und in Regel gefasstes Prozesswissen hinterlegt.

Data Mining Prozeduren setzen auf dem Datenmodell (Analysetableau) an. Mit Parametermuster Vergleiche werden Optionen zur Prozessoptimierung in kausalen Zusammenhängen ermittelt, Steuerparameter innerhalb technisch zulässiger Grenzen automatisch modifiziert und die Auswirkungen auf die Optimierungsfunktion prognostiziert. Dabei lernt und entdeckt das System selbstständig Regeln zur Prozessoptimierung und prüft, ob der Zielwertverbesserung eine bekannte oder bisher unbekannte Regel zugrunde liegt.

Im MCQTI-Regelkreis kommen zur Prozessoptimierung bekannte mathematische-statistische Verfahren und innovative Methoden aus dem Data Mining Verfahrenskanon (z.B. Assoziation, Clusteranalysen, Entscheidungsbäume, insbesondere Künstliche Neuronale Netze (KNN)) zum Einsatz.

Ergebnisse sind optimierte Parametersteuersätze, die über den Regelkreis-Exit schnittstellenfrei zur Prozesssteuerung übergeben werden, und automatisch generiertes Regelwissen, das für fortlaufende Prozessoptimierung unmittelbar nutzbar wird.

Das VISION Modul der Lösung ist die Oberfläche des Systems und Schnittstelle zum Anwender, dem Ergebnisse und Ausnahmesituationen angezeigt werden und über die der Anwender – bei Einsatz zur Schulung oder Prozessprojektierung- mit dem System kommunizieren kann.

Kapitel 8 beschreibt die Auswirkungen der innovativen Steuerungsmethodik auf das betriebliche Qualitätsmanagement, Es erläutert den MCQTI-Einsatz zur Fertigungsprozesssteuerung und die damit verbundenen Nutzeffekte.

Im Kapitel 9 wird Das MCQTI- Methodensystems experimentell auf Funktionalität, Effektivität und Effizienz geprüft. Maßgabe war, Bearbeitungsqualität durch

Bohrprozess-Optimierung zu sichern und simultan den Standweg des Bearbeitungswerkzeuges zu maximieren.

Die Testaufgabe wurde mit überzeugendem Ergebnis gelöst. Mit MCQTI wurde – in der dokumentierten Testapplikation eine WZ- Standweg Verbesserung um 21,5 % erzielt, - im Vergleich zum nicht vom MCQTI gesteuerten System.

Fortgesetzte Experimente mit veränderten Prozessparameter-Szenarien (andere Werkzeuge und Werkstückmaterial) belegen Werkzeug-Standwegverbesserungen zwischen 9% und 27 %. Damit wird Funktionalität und Effektivität des Methodensystems überzeugend bestätigt.

Nutzen und Grenzen des MCQTI- Methodensystems sowie Auswirkungen auf das betriebliche Qualitätsmanagement-Modell wurden unter Punkt 7.8. ausführlich dargestellt, - Nutzeffekte im industriellen Einsatz im Abschnitt 8.2 erläutert.

#### Wissenschaftliche Erkenntnisse und Perspektiven

Als Beitrag zum Fortschritt im Qualitäts- Engineering ist aufzuführen:

MCQTI optimiert dynamisch PRK2-Prozesse unter komplexen Bedingungen, die durch vernetzte, multivariate und nicht-lineare Prozessparameter- Beziehungen und Ereignisketten aus dem Bearbeitungsprozess-Umfeld gekennzeichnet sind. Derartige Prozesse sind mit herkömmlichen Qualitätstechniken nur unzulänglich steuerbar. Einsatzmöglichkeiten von Data Mining Methoden werden in der Literatur angedeutet, im Qualitätsengineering bisher nicht genutzt; im MCQTI- System werden diese Potentiale instrumentalisiert.

In MCQTI-Tests wird experimentell nachgewiesen, dass Prozess-Optimierung nach dem QUALITY NETWORKING Schema und kontinuierliches Verbessern mit innovativen Data-Mining Verfahren verwirklicht werden kann.

MCQTI optimiert dynamische Fertigungsprozesse real-time. Kontinuierliches Verbessern wird simultan in der Ausprägung Echtzeit- Optimierung realisiert.

Die Fähigkeit des Systems, aus den Anwendungen automatisch neues Prozesswissen zu generieren, - also selbständig zu lernen, ist ein Novum und signifikantes Merkmal, mit dem MCQTI sich von herkömmlichen Qualitätssteuerungs- Methoden unterscheidet, gleichzeitig Wissensmanagement auf eine höhere Nutzungsstufe hebt.

Im MCQTI eingesetzte KNN ermöglichen, vernetzte, nicht-lineare Prozess-Parameter-Wechselbeziehungen zu beschreiben und kausale Ursachen-Wirkungszusammenhänge in ihren Regelmäßigkeiten zu entdecken. Mit MCQTI wird dadurch möglich, auf Basis von Wissen über Ursachen- Wirkungs-Beziehungen, - nicht (mehr) anhand von Kennzahlen zu steuern.

Der Übergang von Kennzahlen geführter Qualitäts-Sicherung - mit iterativen Verbesserungen- hin zu Regel-basierter Echtzeit-Prozessqualitäts- Optimierung bedeutet ein Paradigmenwechsel im Qualitäts-Engineering.

Die potentiellen Fähigkeiten qualifizieren MCQTI zur Ergänzung herkömmlicher SPC und zum Einsatz als Schulung – und Prozess-Projektierungssystem.

Das System-Modul VISION ist in seiner Art der Visualisierung ein innovatives Instrument zur fertigungsnahen Qualitätsführung und wird zur Behebung Eingangs erwähnter Mängel beitragen, wonach vielzählige Qualitätsmängel im Fertigungsbereich auf personale Unzulänglichkeiten zurückzuführen sind.

Gleichzeitig legt das MCQTI- Systemmodell die Basis für ein automatisiertes Verbesserungsvorschlagswesen, indem Qualitätstaktiken erfahrender Mitarbeiter erfasst, auf Regelkonformität geprüft, unmittelbar allgemeiner Nutzung zugänglich wird.

QUALITY NETWORKING als Steuerungs-Schema, und vorstehend erwähnte Ergebnisse markieren den ingenieurwissenschaftlichen Ertrag der Forschungsarbeit als Beitrag zum Fortschritt im Qualitäts- Engineering.

Die Nutzung der MCQTI- Potentiale im industriellen Einsatz wird die Fertigungsunternehmen im Leistungs- und Qualitätswettbewerb stärken.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [ACH07] Achner, A., Dose, D.: SixSigma - Streben nach ständiger Verbesserung;  
In: INFORMATION WEEK 12/2007, S. 51 ff.
- [ADO05] Adolphs, P., Schulte, J.: Ein Sensorprinzip mit Zukunft  
in: INDUSTRIE-SERVICE Heft 1-2/2005, S. 6
- [ADO07] Adolf, T. et al.: Instandhaltung & Produktion, Proceedings  
Fraunhofer IPA/MC-Seminar; Frankfurt 2007
- [AKA90] Akao, Y.: Quality Function Development, Integration customer requirements into product design, Hrsg. Japan Standard Association 1988, (englisch), Productivity Press Cambridge, Massachusetts; USA, 1990
- [ALE07] Alexander, S.: Welche IT-Trends uns erwarten;  
In: CW 33/2007, S. 6 f., (Gartner Studie)
- [ALT06] Alt, T., Ependiller, H., Sip, T.: Veränderungsprozesse erfolgreich managen, Proceedings MC-Seminar; Frankfurt 2006
- [APP00] Appelrath, H.-J. et al.: Strukturelle Abbildung von Produktionsnetzwerken auf Multiagentensysteme;  
In: KI – Künstliche Intelligenz, Heft 3/2000, S. 64-70, (arendTaP Verlag Bremen)
- [ARG06] Arglebe, C., Garcinsky, B., Jahn, J.: QM- Organisation; Grundstein für wirkungsvolles QM, Proceedings MC-Seminar Köln 2006
- [ASE01] Asendorf, S.: Auswahl von EAI-Tools, der richtige Griff in den QM Werkzeugkasten;  
In: Diebold Management Report (DMR), 3/2001, S. 19-23
- [AUL06/2] Aulinger, G. et al.: Wertstromdesign; Material- und Informationsfluss-Optimierung, Proceedings MC-Workshop; Gelsenkirchen 2006
- [AUL07] Aulinger, G. et al.: PDCA - Treiber für kontinuierliche Verbesserungsprozesse, Proceedings MC Intensivseminar; Stuttgart 2007
- [BAB04] Babb, M.: German auto makers to controls industry - Get your act together;  
In: Control Engineering Europe, Vol. 2/3 - 2004, S. 7, (Michael.babb@imigroup.co.uk)
- [BAI03] Baier, E.: Experten für neue Strukturen - Qualität als Führungsaufgabe;  
In: PRODUKTION Nr. 46 / 2003, S. 27 f.
- [BAN04] Banks-D et al.: Classification, Clustering and Data-Mining Applications, Springer Verlag, Chicago 2004
- [BAR03] Bartel, R.: PISA ist in der Industrie - Ausbildungsdefizite im Qualitätsmanagement;  
In: Produktion Nr. 39/ 2003, S. 16
- [BAU07] Bauer, N.: IBV - wohin geht der Trend;  
In: open automation H. 1-2/07, S. 64-67, (Fraunhofer-Allianz-Institut)



- [BEC04] Bechmann, R.: Fabrik der Zukunft - Flexibilität wird zur Kernkompetenz, Zum Einführungsstand der Digitalen Fabrik, Design for Manufacturing (DFM), Design for Assembly (DFA), Plug and Produce, In: PRODUKTION Nr. 12/2004, S.4
- [BEE06/1] Beer, K., Pausch, U.: Ideenmanagement und KVP; BVW + KAIZEN + KVP Synergien nutzen, Proceedings zum MC Exklusivseminar; Stuttgart 2006
- [BEE06/2] Beer, K., Kössel, O. et al.: MUDA-Verschwendung identifizieren und beseitigen- Proceedings MC-Intensivseminar; Mai 2006 Frankfurt
- [BEN04] Bent, R.: Ethernet-Wireless-Safety, die Innovationsthemen; In: IEE 49. Jahrgang 12-2004, S. 42
- [BEN07] Bender, K., Prof. Dr.: FDD-UA Client-Server Modell als Dach der Feldgeräte Beschreibungskonzepte FDT (Field Device Tool) und EDDL (Electronic Device Description Language); In: CHEMIE-TECHNIK Heft 3/07, S. 10 f.
- [BER06] Berry, M., J., A., Linoff, G.: Data Mining Techniques, Verlag John-Wiley & Sons, ISBN 0-471-17980-9
- [BES06] Best, D. et al.: KVP Management, KVP dauerhaft einsetzen und kontrollen, Proceedings MC-Seminar; Köln 2006
- [BIS05] Biskamp, S., Müller, B.: Lebendige Objekte, - künftige Anwendungsfelder der RFID Chip Technik; In: Wirtschaftswoche 11/2005 S. 82 ff
- [BIT07] Bitterer, A.: Softwaremarkt zwischen Service-orientierter Architektur (SOA) und web 2.x; In: COMPUTERWOCHE 29 /2007, S. 20-21
- [BOK96] Bocklisch S. et al.: Fuzzy Technologien und Neuronale Netze in der Praxis, Shaker Verlag; Aachen 1996
- [BOL03] Boldt, M.: wireless durch 130 Fertigungsstationen (Anwenderbericht); In: PRODUKTION Nr. 14 /2003, S. 18
- [BÖM03] Böhme, N.: Qualitätssicherung ist Pflicht - Advanced Product Quality Planung ( APQP) Bestandteil der QN 9000; In: DER BETRIEBSLEITER Heft 3/2003, S. 8
- [BON06] Bonta, N.: Qualitätskosten – Erfolg & Bewertung Qualitäts-Initiativen, Proceedings MC-Seminar; Köln 2006
- [BOX94] Box, H., Hunter, W., Hunter, J.: Statistics for Experiments, Wiley & Sons; New York 1994
- [BRE07] Brecher, Ch., Prof. Dr.: Werkstoffbearbeitung bei stehendem Werkzeug und rotierendem Werkstück (bis 85 % Einsparung); In: SCOPE H.4/07, S. 122, (RWTH Aachen) - [www.ds-technologie.de](http://www.ds-technologie.de)
- [BRO91] Bronstein, I.N.: Taschenbuch der Mathematik, Teuber Verlag Stuttgart 1991
- [BRU07] Brunner, A.: AGENTNET – Agentenorientierte Gestaltung der Auftragsabwicklung in Lieferketten bei hybriden Produktionsstrukturen; In: UdZ-Unternehmen der Zukunft 1/2007, S. 26 (mit Grafik) (FIR RWTH Aachen)

- [BUC08] Buchta, H.: Keine Angst vor Data Mining, in Computerwoche Nr. 22/2008 , S. 10 ff.
- [BUE01] Bunting, F.: Qualitätssicherung - mit Six-sigma der 100% Qualität auf der Spur;  
In : PPRODUKTION Nr. 45/2001, S. 25
- [BUS05] Buskamp,F-J.: Mentale Börsenkompetenz Finanzbuch-Verlag München 2005, 1. Aufl., S. 383 - 408
- [BUS07] Bush, T.: Die Bedeutung der digitalen Simulation in der heutigen Produktentwicklung;  
In: SCOPE, H. 4/07 (Digitale Fabrik), S. 77
- [CAL03] Callan-R. : Neuronale Netze im Klartext, Pearson; München 2003
- [CGT] Die Welt der Fertigungs-Simulation, Firmenschrift CGTECH Deutschland ([www.cgtech.com](http://www.cgtech.com))
- [CHR03] Christof, R. Prof.Dr.Ing.habil: Zur Begriffsdefinition Nano Messtechnik;  
In PRODUKTION Nr. 13/2003, S. 29
- [CIT] HMI/SCADA , Prozessanalyse und Anlagen-Steuerung (Firmenbroschüre), ([www.citec.de](http://www.citec.de))
- [DEL] DELMI - System zur Fertigungsprozess-Planung (Firmenbroschüre), ([www.delmia.de](http://www.delmia.de))
- [DIE01] Diederich, M.: Qualitätssicherung; Bedarf an integrierter Projektarbeit wächst mit Prozessintegration;  
In: PRODUKTION Nr. 44/2001, S. 9
- [DIE02] Diederich, M.: Automobilindustrie verdrängt Qualitätskosten Celerant /Emnid Studie, zitiert in: PRODUKTION Nr. 43/2002 , S. 8
- [DIE07] Dietrich, E.,Schulze, A.,Weber, S.: Kennzahlen für die Qualitätsbeurteilung in der industriellen Produktion, Hanser Verlag; München 2007
- [DRA07] Drathen, H., Kuschnerus, N.: Prozessautomatisierung, klassische Automationspyramide mit Zuordnung von Funktionen und Architektur wird aufgelöst, Vision: selbständig überwachende Produktion, Voraussetzung dafür ist online Prozessanalytik;  
In: CHEMIE-TECHNIK, Spezial Prozessautomatisierung, Heft 4/07, S. 11-15, (Namur Working-Paper)
- [DÜH06] Dühr, B.: MES und Prozess-Simulation nicht automatisch auf der Erfolgsspur;  
In: SCOPE Heft 6/2006, S. 62, ([www.ugsplm.de](http://www.ugsplm.de))
- [EST05] Ester, M.,Sander, J.: Knowledge Discovery in Databases, Springer Verlag, ISBN 3-540-67328-8
- [FAC06] Fackler, I.: Automatisierung im Aufwärts-Trend  
In: PRODUKTION Nr. 21/ 2006
- [FAL06] Falkenstein, H-P. et al.: Qualitätsmanagement nach dem Toyota Prinzip, Proceedings MC-Fachseminar; München 2006
- [FAY96] Fayyad et al. 1996, S. 9

- [FIC99] Fichtner-D.: Wissensakquisition für Schnittwerte mit Neuronalen Netzen, Fortschritt-Berichte VDI, VDI Verlag Düsseldorf 1999
- [FIS88] Fisher, R. A.: The Design of Experiments (DoE), 8. Edition, Oliver & Boyd; Edinburgh 1988
- [FIS94] Fischer-U: Tabellenbuch Metall 40. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel; Haan-Gruiten 1994
- [FOR06] Forzi, T. et al.: Instrumentarien für das integrierte Wissensmanagement im Netzwerk;  
In: UdZ 3-4/2006, S. 23-27, DLR/AuD/BMFT Forschungsprojekt, ([www.fir.rwth-aachen.de](http://www.fir.rwth-aachen.de) )
- [FRA01] Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung / IFA, Universität Hannover ( Hrsg.): Automation stösst an Grenzen der Wirtschaftlichkeit - Overengineering in der Produktionsautomatisierung ([www.isi.fhg.de](http://www.isi.fhg.de))
- [FRA03] Franke, S.: Digitale Fabrik - Autobauer preschen mal wieder voran; zum Stand der Vorhaben in der deutschen Automobilindustrie, Studie IPH Universität Hannover, zitiert in: PRODUKTION Nr. 14/2003 , S. 36
- [FRA87] Franke, W.D.: FMEA - Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse in der industriellen Praxis, Verlag Moderne Industrie; Landsberg 1987
- [FRE02] Freitas-A: Data Mining and Knowledge Discovery with Evolutionary Algorithms, Springer Verlag; Berlin Heidelberg New York 2002
- [FRE07] Freier, H.: Rückverfolgbarkeit von Qualitäts- und Produktionsdaten in der Prozessindustrie (Traceability);  
In: CHEMIE-TECHNIK, Heft 3/07, S. 26 ff., (Hüthig Verlag Heidelberg)
- [FRI02] Friemuth, T: Herstellung spanender Werkzeuge, VDI-Fortschrittsberichte , VDI Verlag; Düsseldorf 2002
- [FRI07] Fritsch, A.: et al.: Feldbus oder Remote IO – was ist die beste Lösung;  
In: Open Automation 3/2007 , S. 48-55, ( VDI/VDE Verlag Berlin)
- [FRO04] Fromm, L.: Fehlerquelle Mensch für Qualität sensibilisieren, Erfahrungsbericht Bosch Automobiltechnik, 75 % aller Fehler haben menschliche Ursachen;  
In: PRODUKTION Nr. 39/2004 , S. 29
- [FRO07] Frohner, W.: Zentrales MES-MDE know how zur Verbindung der Leitebene mit der Maschinen-Ebene;  
In: SCOPE, H 4/07, S. 164 ff.
- [GAD06] Gadatsch, Prof. Dr. et al.: Erfolgreiches Prozessmanagement in der Praxis, Proceedings MC-Jahreskonferenz; Frankfurt 2006

- [GAN07] Gandert, E.: CT Trendbericht Prozessanalysetechnik;  
In: CHEMIE-TECHNIK, Sonderausgabe  
Prozessautomatisierung, Hüthig Verlag; Heidelberg 2007, S. 46 f.
- [GAT03] Gatzen, P.: Weg zum World class Manufacturing; Kaizen, TPM, JIT, Lean, six sigma...was kommt als Nächstes;  
In: PRODUKTION Nr. 27/2003, S. 26
- [GEF06] Geffe, J.: Brachliegende Potentiale in der IBV;  
In: open automation, H. 6/06, S. 33, (Sonderteil: News Guide)
- [GER00] Gerken, A.: Management von Erfahrungen mit einem Assistenzsystem für die Arbeitsplanung. Dissertation  
Universität Stuttgart, Dez. 2000.
- [GIE06] Giesebrecht, U. et al.: Verfügbarkeitsorientierte Instandhaltung  
Proceedings MC-Seminar; Nov. 06 Stuttgart
- [GIE07] Gierse, H.: Industrial Ethernet - Die Profinet-Vorteile IE hat Praxistauglichkeit auch für die Übertragung zeitkritischer Daten bewiesen, Profinet ermöglicht durchgängige deterministische Echtzeit-Kommunikation bis in die Feldebene;  
In: open automation, H. 1-2/07, S. 17 f.
- [GIN04] Ginn, D., Varner, E.: Design six sigma; Tools and Methods for Robust Processes and Products; GOAL/OPC Salem New Hampshire/USA 2004 (TQU Verlag Ulm)
- [GLA99] Glanz, A., Sander, J.: Ein ganz anderes Spiel - Im Digital Business gelten neue Regeln für die Unternehmen;  
In: Computerwoche-Spezial 3/1999, S. 68 ff.
- [GOG94] Gogoll, A., Theden, Ph.: Techniken des Quality Engineering.  
In: Kamiske, G.F. (Hrsg.): Die hohe Schule des Total Quality Management, Springer Verlag; Berlin/Heidelberg 1994 .
- [GOT03] Gottwald, M.: Technologischer Status von 38 ERP Systemen ;  
Feinabstimmungen verbessern hohe Qualität;  
In: IS Report 11/2003, S.21 ff.
- [GRA07/1] Graf, S.: Wachstumsgrenzen überwinden integrierte ERP-/PPS-/MES- Lösungen zur Geschäftsprozess-Optimierung;  
In: SCOPE, H. 4/07, S. 144 ff.
- [GRA07] Graule, N.: Prozessoptimierung in Zeitlupe - Sichere Fehleranalyse mit High Speed Kameras, Digitale Hochgeschwindigkeitskameras gewährleisten unmittelbare Einsicht in schnell ablaufende Vorgänge, (Messen Werkzeug-Verschleißmarken).  
In: Der Betriebsleiter, Heft 11/2007, S. 14 f., ( [www.vfmz.de](http://www.vfmz.de))
- [GRE07] Greutmann, T.: Business Intelligence; Werkzeug für die Arithmetik des Wirtschaftsuiversums, Unternehmensplanung mit Performancepoint Server 2007, Microsoft Press Deutschland; Unterschleissheim 2007
- [GÜM03] Gümpel, H.: ERP Anbieter müssen Systeme anpassen;  
In: PRODUKTION Nr. 15/2003, S. 28

- [HAK07] Hansen, W.,Kamiske, G. (Hrsg.): Qualitätsmanagement in Unternehmen; Grundlagen, Methoden und Werkzeuge, Verlag Symposium Publishing Düsseldorf (periodisch aktualisiertes Loseblattwerk)
- [HAN03] Hannen, C., Nicolai, H.: PPS Systeme ablösen oder überarbeiten;  
In: fir-iaw Mitteilungen Heft 3/2003, S. 10, (RWTH Aachen)
- [HAN04] Hansen, W. et.al.: Qualitätsmanagement, Digitale Fachbibliothek, CD-ROM, Ausgabe Oktober 2004
- [HAS04] Haselhuber, N.,Solot, P.,Wettstein, E.: Erfolgreiche PVC-Optimierung mit statistischer Versuchsplanung (Anwenderbericht Aicos/Alcan);  
In: CHEMIE TECHNIK Nr. 5/2004 (33.Jahrgang), S. 52 f.
- [HAS06] Hassel, Ch.,Tatera, J., Weyer, L.: PAT Online Process Analysis - Technics  
An Overview of Instrumentation and Technologies;  
Proceedings CfPA Seminar Center for Professional Advancement; Oktober 2006, Amsterdam ([www.cfpa.com](http://www.cfpa.com))
- [HAU06] Hauser, A. et al.: Wissensmanagement – Prozessorientierung als der Schlüssel zum Erfolg. Potentiale eines prozessorientierten Wissensmanagement-Systems aus Sicht der Praxis ( DLR/BMWa Forschungsprojekt 01 MD 311);  
In: UdZ -Unternehmen der Zukunft 2/2006, S. 13-15, ([www.fir.rwth-aachen.de](http://www.fir.rwth-aachen.de))
- [HAU07] Hauger, W., Jahn, J., Lehrke, M.: Wirksam operatives Qualitätsmanagement, Neue Rolle für Qualitätsmanager, Unterlagen zum MC Seminar, Düsseldorf 2007; Ders. Robuste Prozesse in der Produktion, MC-Seminar; Düsseldorf 2008
- [HEI06/1] Heinze, R. et al: Vom Feldbuskoppler zum Automatisierungssystem Feldbuskoppler als zentrale Punkte in heterogenem Automatisierungsumfeld, mit multilingualer Proxi in die Feldebene;  
In: open automation, H. 6/06, S. 20-24
- [HEI06] Heinze, R., Küppers, U.: Business Intelligence Systeme für die Fertigungsindustrie;  
In: open automation, H. 5/06, S. 10-13
- [HEI07/1] Heinze, R.: MES im Fokus; Aufgabenblöcke, Gestaltungsalternativen;  
In: open automation , H. 1-2/07, S. 24-27
- [HEI07] Heinze, R.: Web basiertes Asset Management erhöht die Effizienz;  
In: Open Automation 3/2007, S.10 f.
- [HEN06] Henry, A.: Toyota als Vorbild;  
In: Wirtschaftswoche Heft 1-2/2006, S. 37-47
- [HER01] Herfried,R.: XML in der Konstruktion - XML als Kommunikations- und Datenformat-Standard im Collaborative Engineering;  
In: DER KONSTRUKTEUR Heft 8 /2001, S. 16 ff.

- [HER07] Herrmann, J. (Hrsg.): Der Qualitätsmanager, Focus on Quality, Management Lehrgang (Veranstalter: TU Berlin, Management Circle); Berlin 2007
- [HOE06] Hoepfner, I., Schmälzle, A.: Shop floor- Management, Ziele, Konzepte, Methoden, Proceedings MC Intensivseminar; Düsseldorf 2006
- [HOF05] Hofmann, J.: Qualität - Mercedes büsst seinen Nimbus ein - Bei der Kundenzufriedenheit hat die Qualitätsmarke gelitten; In: Handelsblatt vom 11.02.05, S. 2
- [HOF06] Hoffmann, J.: Handbuch der Messtechnik, 3. neu bearbeitete Auflage, Hanser Verlag; München 2006
- [HOF07] Hoffmann, N.: Intelligente Lieferketten - RFID-Chips und BI Werkzeuge machen Informationen für Entscheidungen nutzbar; In: INFORMATIONWEEK, Heft 2/2007, S. 18 ff.
- [HOL07] Holtze, P.: Data-Mining in der Bedarfsprognose von Komponenten und Teilen, Neue Ansätze zur Planung einer variantenreichen Serienfertigung, Shaker Verlag, ISBN 3-826-58281-0
- [HÜB04] Hübner, I. et al.: SCADA Systeme - Anforderungen, Aufgabengebiete, Lösungsansätze für Technologie-getriebene Prozess-Visualisierungssysteme; In: open automation, H.5/06, S. 6-10
- [HÜB05] Hübner, I.: Ethernet-Interbus , - Entwicklungsperspektiven
- [HÜB06/1] Hübner, I.: Auf ERP folgt ERP II Studie zu den Vorteilen webbasierter, plattformunabhängiger ERP II Systeme; In: open automation, H. 5/06, S. 14-16
- [HÜB06] Hübner, I.: IO-Link; Erfahrungen zur Sensor-Aktor Schnittstelle; In: open automation H. 5/06, S. 72-76
- [HÜB07] Hübner, I.: Networking angesagt; In: open automation, H. 1-2/07, S. 3, ( VDE-Verlag Berlin)
- [HUR08] Hurtz, A., Sauer, K., Schibowski, B.: KVP Plus; Methodenhaus, Management, Mitarbeiter, Betriebsrat und Controlling, MC-Seminar; München 2008
- [ISH80] Ishikawa, K.: Guide to Quality Control, Asian Productivity Organisation; Tokyo 1980
- [IST91] INTELLIGENTE SOFTWARE TECHNOLOGIEN  
Zeitschriftenreihe im Oldenbourg Verlag München  
(vierteljährlich)
- [JAG04] Jagiella, M.: Fortschritt durch Miniaturisierung, Marktorientierte Sensor-Entwicklung; In: DER KONSTRUKTEUR Heft 6/2004, S. 8
- [JOR03] Jordan, G.: Mit mehr Systematik besser produzieren - massgeschneiderter Methodenmix im Qualitätsmanagement; In: PRODUKTION Nr. 18/2003, S. 25
- [JUR04] Juran, M.J.: Architect of Quality Tata McGraw-Hill Edition; New Delhi 2004

- [KAR07] Karer, A.: Optimale Prozessorganisation im IT-Management, Springer Verlag; Berlin 2007
- [KAT05] Katzensteiner, T., Rees, J.: Ruppiger Umgangston; Autohersteller nehmen Zulieferer für Produktionspannen in die Pflicht;  
In: Wirtschaftswoche Nr. 7/2005 S. 52 ff.
- [KEL05] Kelter, H.: RFDI Bedrohungslage einer aktuellen Technologie;  
In: KES- Zeitschrift für Informationssicherheit, Heft 1/2005, S.38 ff., (Bundesamt für Sicherheit der Informationstechnik)
- [KER94] Kersten, G.: Fehlermöglichkeits-und -Einflussanalyse (FMEA),  
In: Masing,W.(Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Hanser Verlag; München - Wien 1994
- [KIL04] Kilb,O.: Was ist eigentlich RFID;  
In: IT-Mittelstand Heft 5/2004, S. 10
- [KIP01] Kipp, R., Wiendahl, H.- H.: MES Lösungen; Kriterien bei der Systemauswahl;  
In: IT- INDUSTRIELLE INFORMATIONSTECHNIK, H. 11-12/2001, S. 14 ff.
- [KLA06] Kladroba, A.: Was ist neu am Data Mining? Anmerkungen zur "neuen" Datenanalyse aus der Sicht der Statistik, Allgem. Statist. Archiv 85, S. 455-462
- [KLE05/1] Klein, Ch.: Overengineering frisst Renditen auf;  
In: PRODUKTION Nr. 7/2005, S. 1- 1.4
- [KLE05] Klein, Ch., Porsch, M.: Hatz auf Kosten bringt Qualität zur Strecke;  
In: PRODUKTION Nr. 6/2005, S. 2
- [KLI99] Klinkner, R.: Der Lehrmeister heißt Automobilbau.  
In: PRODUKTION Nr. 32/33 1999, S. 3
- [KOP07] Koppen, R.: Wie sich richtiges Wissen planen lässt;  
In: COMPUTERWOCHE 29 /2007, S. 22-23
- [KOR06] Korb, T.: Komfortables Plug-and-Play IP67-Feldbus-System;  
In: SCOPE, Heft 8/2006, S. 38, (www.lumberg.com)
- [KRA91] Krall, D. et al.: Einsatz adaptiver Klassifikatoren zur Analyse von Planeten- Getriebe- Geräuschen;  
In: IST-Intelligente Software-Technologien, Heft 3/91, S. 22-27, (Zeitschriftenreihe Oldenbourg Verlag München, ISBN 0940-1113)
- [KRO03] Krome, R.: Konstruktive Unruhe durch Six-sigma;  
In: PRODUKTION Nr. 38/2003, S. 3
- [KÜP06] Küppers, B.: Data Mining in der Praxis: Ein Ansatz zur Nutzung der Potentiale von Data Mining im betrieblichen Umfeld,  
Europäischer Verlag der Wissenschaften, ISBN 3-631-34106-7
- [KUN06] Kunz, R.: Wissen ist Macht – Systeme und Instrumente zur Wissens-generierung;  
In: Business + IT Heft 10/2006, S. 18-20, (80% der Lernvorgänge laufen informell, nicht curicular gesteuert ab )

- [LAE05] Läßle, R., Haaßengier, R.: Das ERP-System angefunkelt – Barcodeleser und RFID beschleunigen Qualitätsparameter-Erfassung um ein Vielfaches, In: DER BETRIEBSLEITER Heft 8/2006, S. 14 f.
- [LAG07] Lagao, P.: Einsatzpotentiale des Data Mining bei der Klassifikation komplexer Fertigungsprozesse am Beispiel des Radial-Axial-Ringwalzens, Shaker Verlag, ISBN 3-832-23248-6
- [LAN05] Lang, W., Scholz-Reiter, B., Philipp, T., Jedermann, R.: Intelligent, RFID in Logistics - Identification and Beyond; In: International Newsletter on micro-nano integration, Special issue, Heft 1/05, March 2005, S. 15 (Hrsg. VDI/VDE)
- [LEH06] Lehrke, M., Schulze-Hentrich, M.: Prozesskennzahlen – Qualität und Leistung systematisch steigern. Skript zum MC-Seminar; Köln 2006
- [LEH06] Lehrke, M. et al.: Der Prozessmanager, Erfolgsfaktoren für ein wirksames Prozessmanagement, Proceedings MC-Seminar; Frankfurt 2006
- [LEH07] Lehmann, F., Peterke, J., Reichert, M., Schmidt, R.: KVP Kultur – Schlüssel für kontinuierliche Verbesserungen, Skript zum MC-Seminar; Düsseldorf Dez. 2007
- [LEI06] Leikepp, S.: Toyotas Erfolgskonzept – lässt es sich entschlüsseln? In: PRODUKTION 24/2006, S. 18
- [LIC03] Licht, T., Schmidt, L.: Probleme verteilter Produktentwicklungsteams; In: Unternehmen der Zukunft, Heft 4/2003, S. 12 ff. (RWTH Aachen)
- [LIC06] Lickefett, M. et al.: MES–Optimierte Planung und Steuerung in der Produktion, Proceedings Fraunhofer-IPA/MC-Fachkonferenz, Frankfurt 2006
- [LIE04] Liess, A.: EAI - Die Fleissarbeit zuerst; Zur Planung von EAI Projekten; In: PRODUKTION Nr. 24/2004, S. 28
- [LIN02] Linß, G.: Qualitätsmanagement für Ingenieure, Fachbuchverlag Leipzig, Carl Hanser Verlag; München Wien 2002
- [LIN07] Linß, Gerhard: Berichte zum Qualitätswesen, Bericht zur GQW Tagung 2007 - Ilmenau; Shaker Verlag Aachen 2007
- [LIN08] Linß, G.: Statistiktraining im Qualitätsmanagement; München 2008
- [LOE06] Löwen, W.: Reihenfolgeplanung in der Produktion Proceedings MC-Seminar; Stuttgart 2006
- [LUS06] Lusti, M.: Data Warehousing and Datamining: Einführung in entscheidungsunterstützende Systeme, Springer Verlag, ISBN 3-540-42677-9
- [MAG04] Magnusson, K., Kroslied, D., Bergmann, D.: Six Sigma umsetzen – Die neue Qualitätsstrategie für Unternehmen, Carl Hanser Verlag; München 2004



- [MAN06] Manuß, O., Schloske, A.: Qualität in der Entwicklung, Präventive und innovative Methoden, Proceedings Fraunhofer IAP/MC-Seminar; Frankfurt 2006
- [MAR00] Martin-E: Knockledge Discovery in Databases, Techniken und Anwendungen, Springer Verlag; Berlin Heidelberg 2000
- [MAR05] Marks, O.: Universell sollen sie sein - Neue Generation induktiver Sensoren erschliesst konstruktive Feinheiten; In: DER KONSTRUKTEUR Heft 1-2/2005, S.34
- [MAR06] Marciniak, D. et al.: TPM - Konzepte - Umsetzung - Erfolgsfaktoren - Stufenkonzept - Techniken - Verlustarten - Werkzeuge, Proceedings MC-Seminar; Gelsenkirchen 2006
- [MAY01] Mayr, J. : Neue Methoden werden nicht eingesetzt ; In: COMPUTER-ZEITUNG Nr. 40/2001, ( Deutsche Gesellschaft für Informatik )
- [MAY06] May,T.: Sensoren machen Echtzeit- Instandhaltungssysteme praxisreif; In: CHEMIE TECHNIK, Heft 11/2006, S. 36
- [MAY07] May, T.: Echtzeit-Instandhaltungssysteme praxisreif; In: CHEMIE-TECHNIK, Heft 11/07, S. 36-37
- [MCN94] McNeil - D. et al.: Fuzzy Logik, unscharfe Logik erobert die Technik, Simon & Schuster; New York 1994
- [MED] Fallbeispiel für okkulte Störungen aus dem Bereich Medizintechnik: Bei EEG Untersuchungen zeigten die Kurven atypische Ausschläge, die auch bei anderen Patienten und nach verschiedenen Reparaturversuchen (Methode Trial & Error) und Messgeräte-Austausch weiter auftraten. Nach Ausweitung des Untersuchungsfeldes auf die Infrastruktur der Klinik wurde die Notstromversorgung als Verursacher identifiziert. Das Notstromaggregat wurde zur Funktionsprüfung in unregelmäßigen Zeitabständen an das Stromnetz geschaltet. Der dabei ausgelöste Stromstoß dauerte zwar nur Millisekunden, war aber stark und lang genug, um auf die Messgeräte durchzuschlagen.
- [MEN07] Menze, T.: Prozessautomatisierung, Digitalisierung des Feldes ist Voraussetzung, messen, regeln selbstverständlich, Prozessdiagnose (online Analytik), Ressourcenverfügbarkeit, Verkettung von Produktionsprozessen sind Themen der Zukunft; In: CHEMIE-TECHNIK, Heft 4/07, S. 24
- [MER06] Mertens, H.,Wiecorrek, H.: Data X Strategien: Data Warehouse, Data Mining und operationale Systeme für die Praxis, Springer Verlag, ISBN 3-540-661178-6
- [MER90] Mertens, P., Wiendahl, H-P., Wildemann, H.: (Hrsg.) PPS im Wandel , Tagungsbericht Juni 1990 Frankfurt (TU München, Universität Hannover, Universität Erlangen-Nürnberg), gfmt-Verlag; München 1990

- [MIT06] Mittelhuber, B. et al.: Produzieren wie Toyota – Die Erfolgsmethoden Lean Think, Wertstromdesign, Low Cost Automation, Shopfloor Management; Proceedings MC-Seminar; München 2006
- [MOE04] Moebus, R.: Mit Sicherheit wirtschaftlich- Sensortechnik eröffnet neue Perspektiven;  
In: INDUSTRIE-SERVICE Heft 4/2004, S. 52 ff.
- [MST07] Smart Facctory with MST – Converging Technologies;  
In: mst news – International Newsletter on micro-nano integration Zeitschrift VDI/VDE/IT Innovation + Technik GmbH Berlin, Nr. 2/07, S. 4-43
- [NOW01] Nowak, A.: Brücke zwischen Hersteller und Zulieferer; standardisierte Formate sorgen für durchgängigen Datenfluss in der Industrie;  
In: Industrielle Informationstechnik- Zeitschrift für Organisation, Software und Prozess Engineering, Heft 11-12/2001 S. 14 ff.
- [OTT05] Otte, R.,Otte, V., Kaiser, V.: Datamining für die industrielle Praxis Hanser Verlag, ISBN 3-446-22465-3
- [OV01] o.V.: Web basierte Geschäftsprozesse darstellen und integrieren;  
In: Computer & Produktion Heft 1-2/2001, S. 40 f.
- [OV02/1] o.V.: Software-Projekte In den Sand gesetzt;  
In: ITP Zeitschrift für industrielle Informationstechnologie Heft 1-2/2002, S. 8
- [OV02/2] o.V. : Qualitätsmanagement; Sonderbeilage Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ) vom 11. Nov. 2002
- [OV03/1] vgl. O.V. Quality Gates im Maschinenbau - Arbeitsbericht zum Forschungsprojekt ProMIS, ...die Disziplinen Mechanik, Elektronik, Software driften auseinander...nur schwache interdisziplinäre Nutzeneffekte...interdisziplinäres Projektmanagement, damit Projekte durch Quality Gates passen. Proceedings zur Arbeitstagung ProMIS ( VDMA, Fraunhofer IPT, Daimler-Chrysler u.a.); Frankfurt 2003
- [OV03/10] o.V.: Digitale Fabrik - Integration aller Prozesse - Effektive Fertigungs- und Prozessabläufe verbessern Produktion und Qualität;  
In: DER BETRIEBSLEITER Heft 10/2003, S. 12 f.
- [OV03/2] o.V.: Collaborative Applikation; Sprengung der Firmengrenzen ist eine IT- und Qualitätsfrage;  
In: PRODUKTION Nr. 3/2003, S. 28
- [OV03/6] o.V.: MES - Echtzeitdurchgriff auf die Durchsetzungsebene;  
In: SCOPE, Heft 10/2003, S. 30, ([www.psipenta.de](http://www.psipenta.de))
- [OV03/8] o.V. Maßnahmen im Produktionsprozess;  
In: PRODUKTION Nr. 25/2003, ([www.isis-optronics.de](http://www.isis-optronics.de))
- [OV03/9] o.V.: Messtechnik: Oberflächen und Ebenheit per Laser in Nano messen;  
In: PRODUKTION Nr. 14 /2003, ([www.mahr.com](http://www.mahr.com))

- [OV03] o.V.: Produktions - und Qualitätsmanagement – Der Methodenmix bringt den Erfolg;  
In: PRODUKTION Nr. 51/52-2003, S. 27
- [OV04/1] o.V. Tipps für die Auswahl von ERP Software;  
In: INDUSTRIE-SERVICE Heft 11/2004, S. 33
- [OV04/10] o.V.: Überblick zur Entwicklung im Bereich Sensorik , Industrielle Bildverarbeitung, SPS Steuerung und MES Software-Systeme in: INDUSTRIE-AUTOMATION, Sonderausgabe: Technik für die Produktion; Mai 2004, S. 21 ff.
- [OV04/14] o.V.: Qualität - Brennendes Problem für deutsche Industrie (Working-paper DGQ, VDA);  
In: PRODUKTION Nr. 48/2004, S. 1
- [OV04/18] o.V.: Nanometer-präzise Messtechnik;  
In: PRODUKTION Nr. 25 /2004, ( [www.ibspe.com](http://www.ibspe.com))
- [OV04/2] o.V.: Was ERP Software leisten kann; umfassende Lösungen optimieren sämtliche Geschäftsprozesse;  
In: INDUSTRIE-SERVICE Heft 11/2004, S. 21-26
- [OV04/7] o.V.: Fehler vermeiden statt beheben; Six sigma als neue Strategie im Qualitätsmanagement; Proceedings zum Seminar Fraunhofer-Institut IAO; Karlsruhe 2004
- [OV04] o.V.: Virtuell vereint – Spezielle Software ermöglicht Konstruktionsteams an verteilten Standorten gemeinsame Arbeit an Entwicklungsprojekten;  
In: SCOPE Heft 8/2004, S. 42, ([www.cocreate.de](http://www.cocreate.de))
- [OV05/1] o.V.: Messtechnik – Innovative Qualitätssicherung;  
In: PRODUKTION Nr. 16 /2005, S. 20
- [OV05/10] o.V.: Flexible High-Speed-Video Kamera;  
In: PRODUKTION Nr. 15/2005, S.23, ( [www.weinberger.com](http://www.weinberger.com))
- [OV05/2] o.V.: Alles aus einer Hand -Schritt für Schritt zum MES System;  
In: DER BETRIEBSLEITER, Heft 3/2005, S. 42, ([www.gfos.com](http://www.gfos.com))
- [OV05/9] o.V.: Industrie-Automation, Sonderausgabe PRODUKTION; März 2005
- [OV06/1] o.V.: Integriertes Asset Management;  
In: CHEMIE TECHNIK, Heft 11/2006 (Beilage S. 34 ff.), Siemens
- [OV06/10] o.V.: MES mit Traceability;  
In : SCOPE Heft 6/2006, S. 64, ([www.itac.de](http://www.itac.de))
- [OV06/11] o.V.: CAM einfacher programmieren;  
In: SCOPE, Heft 6/2006, ([www.openmind-tech.com](http://www.openmind-tech.com))
- [OV06/12] o.V.: Wege zur Nullfehler-Fertigung- 3D Bildverarbeitung optimiert berührungslose Prozesskontrolle;  
In: PRODUKTION Sonderausgabe Sept. 2006, S. 16 f.
- [OV06/13] o.V.: Werkzeuge vollautomatisch vermessen, In: SCOPE, Heft 8/2006, S.76, Systembeschreibung, ([www.zoller.de](http://www.zoller.de))

- [OV06/14] o.V.: Messen und Prüfen per Wärmebild; Audi nutzt Infrarot-Thermografie zur Wahrung seiner Qualitätskriterien, (Anwenderbericht);  
In: DER BETRIEBSLEITER, Qualitätssicherung Spezial, H. 4/2006, S. 50
- [OV06/15] o.V.: Wirk-EnergieStromzähler Klasse 1 mit PTB Zulassung;  
In: SCOPE, Heft 8/2006, S. 41, ([www.berg-energie.de](http://www.berg-energie.de))
- [OV06/16] o.V.: Präzise hochdynamische Rundlaufregelung;  
In: SCOPE Heft 8/2006; ([www.hitachi-ds.com](http://www.hitachi-ds.com))
- [OV06/17] o.V.: Optimierte Fertigung und Qualität , MES-Lösung schafft Transparenz  
In: DER BETRIEBSLEITER , Qualitätssicherung Spezial, Heft 4/2006, S.46 f.
- [OV06/18] o.V.: Drahtlose Datenübertragung in einer Mess-Einrichtung;  
In: DER KONSTRUKTEUR, Heft 4/2006, S. 26 f
- [OV06/2] o.V.: Mess- und Prüftechnik; IBV, Messgeräte für Luftqualität, Druck-transmitter, Positionssensoren für beengte Verhältnisse  
In: SCOPE, Heft 11/2006, S. 42 ff., Hoppensted Publishing Darmstadt
- [OV06/3] o.V.: Der Spagat zwischen Qualität und Preis;  
In: SCOPE, Heft 4/ 2006, S. 40 f., ([www.daimlerchrysler.com](http://www.daimlerchrysler.com))
- [OV06/4] o.V.: Durchgängig vernetzt , Expertenbericht;  
In: SCOPE, Heft 4/2006, S.18 ff.
- [OV06/7] Flexibel anpassbar – Software-Bibliothek erlaubt hardware-unabhängige Bildverarbeitung;  
In: DER BETRIEBSLEITER , Qualitätssicherung Spezial, Heft 4/2006, S. 44 f.
- [OV06/8] o.V.: Messtechnik: Märkte-Trends-Innovationen  
In: open automation, Sonderausgabe, VDE-Verlag; Berlin 2006
- [OV06/81] o.V.: Prozess-Überwachung durch piezoelektrische Kraftmessung;  
In: PRODUKTION 24/2006 S. 15, ([www.kistler.com](http://www.kistler.com))
- [OV06/85] o.V.: Methodensysteme für Business Process Management (BPM);  
In: IT- Direktor, Heft 10/2006, S. 56 - 61
- [OV06/9] o.V.: Optimale Prozesse, CAQ-Systemunterstützt;  
In: DER BETRIEBSLEITER Heft 11/2006, S.12 f., ([www.vfmz.de](http://www.vfmz.de))
- [OV06] o.V. Advanced Planning and Scheduling, Proalpha Software-Dokumentation, ([www.proalpha.de](http://www.proalpha.de)),
- [OV07/1] o.V.: In-line Messung mit 100 % Prüfung Systembeschreibung;  
([www.rossmanith.de](http://www.rossmanith.de))
- [OV07/10] o.V.: Lasertechnologie ermöglicht höchste Genauigkeit Systembeschreibung, ([www.leuze.de](http://www.leuze.de))
- [OV07/12] o.V.: Statistica für multivariate SPC Software-Katalog,  
([www.statsoft.de](http://www.statsoft.de))
- [OV07/17] o.V.: IBV; Multifunktions-Kameras (Signier-Dokumentations-Funktionen), Systembeschreibung, ([www.kappa.de](http://www.kappa.de))

- [OV07/18] o.V.: Integrierte Infrarot-Thermo-Kamera mit 640 x 480 Pixel Auflösung, Systembeschreibung, ([www.flir.de](http://www.flir.de))
- [OV07/19] o.V.: Prozesswerte vor Ort darstellen ( Feldbusanzeigen); In: SCOPE, H 4/07, S. 45, ( [www.turck.com](http://www.turck.com))
- [OV07/2] o.V.: Lückenlose Dokumentation und Überwachung der Produktion Systembeschreibung, ([www.dsm-messtechnik.de](http://www.dsm-messtechnik.de))
- [OV07/20] Pactware Consortium e.V: (Hrsg.) PACTware-Systembeschreibung; Anlagen bis auf Feldebene konfigurieren, in Betrieb nehmen, Prozesse diagnostizieren, Hersteller-und Feldbus-übergreifend, ([info@pactware.com](mailto:info@pactware.com))
- [OV07/23] o.V.: Farb-Vision-Sensor; mit Color Vision, Farben exakt detektieren; In: SCOPE, H. 4/07, S. 49
- [OV07/25] o.V.: BDE-System, Datensammler und -jäger (Anwenderbericht); In: SCOPE Heft 3/2007 (Digitale Fabrik), S. 38 f., ([www.feltengmbh.de](http://www.feltengmbh.de))
- [OV07/28] o.V.: Werkstoffdatenbank für Simulation und Konstruktion; In: SCOPE H. 4/07, S. 89, (Firmenschrift: IMA Materialforschung und Anwendungstechnik, Dresden, ( [www.ima-dresden.de](http://www.ima-dresden.de))
- [OV07/31] o.V.: Neue MES- und Safety- Lösungen erweitern die Kommunikation zwischen der Management- und Applikationsebene, unterstützen 32 Datenbanken, genormte SQL-Schnittstellen; In: open automation , H. 1-2/07, S. 40, ( [www.mitsubishi-automation.de](http://www.mitsubishi-automation.de))
- [OV07/4] o.V.: Leitfaden - Instrumente und Methoden des Qualitätsmanagements zur Fertigungssteuerung, ([www.infor.de](http://www.infor.de))
- [OV07/41] o.V.: Lasermesstechnik für In-line Messung Systembeschreibung, ([www.claas-cft.com](http://www.claas-cft.com))
- [OV07/43] o.V.: Daten werden zu Profit; intelligente Vernetzung von Informationen aus den Feldgeräten und Systemen der Automationstechnik mit übergeordneten Funktionen der Unternehmens- und Produktplanung verspricht enormes Optimierungspotential; Fazit zur 3. Fachtagung der Prozess-Akademie ( Namur AK 4.13); In: CHEMIE-TECHNIK, H.3/07, S. 8 f.
- [OV07/44] o.V.: Komplexe Prozesse flexibel parametrisieren; Pronto 6.0 Prozessleitsystem zur integrierten Qualitätskontrolle und Produktverfolgung mit SQL-Datenbanken; In: CHEMIETECHNIK Heft 5/2007, S. 48
- [OV07/45] o.V.: Integration von Feldbusses der Prozessautomatisierung, Titelthema; In: CHEMIETECHNIK 4/07, S.10-38, ( Asset Management)
- [OV07/46] o.V.: WISA - Interface für drahtlose Sensor-Aktorverteiler; In: CHEMIE-TECHNIK, Heft 4/07, S. 62

- [OV07/5] Fraunhofer-Institut (Hrsg.); Forschungsprojekt: Strategien zum Wissenserwerb, ([www.isi.fhg.de/ti/Projektbeschreibungen](http://www.isi.fhg.de/ti/Projektbeschreibungen))
- [OV07/6] o.V.: Siemens A&D ergänzt Verkabelungskomponenten
- [OV07/7] o.V.: VERICUT–Optimierung spanender Prozesse  
Systembeschreibung, ([www.cgtech.com](http://www.cgtech.com))
- [OV07/70] o.V.: Qualitätssicherung und Maschinendiagnose vereint;  
In: CHEMIE-TECHNIK 8/07, S. 63, (KZ CT348)
- [OV07/71] O.V.: Was die DB2 Warehouse-ETL-OLAP Edition leistet;  
In: CW 33/2007, S. 18 f.
- [OV07/8] o.V.: Datenanalyseprogramm- Bundle für Six-Sigma  
In: CHEMIE TECHNIK Heft 2/2007, S. 62
- [OV07/80] o.V.: Digital Sensor-Technologie for Process-Analytical-  
Technology;  
In: PCN Process Controll News, Heft Febr/März 2007, S.10-19
- [OV07/89] o.V.: Werkstoff-Datenbank für Simulation und Konstruktion;  
In: SCOPE Heft 4/2007, S. 89, (IMA Materialforschung und  
Anwendungstechnik, Dresden), ([www.ima-dresden.de](http://www.ima-dresden.de))
- [OV07/9] o.V.: CAQ; Mathematische und statistische Methoden  
Softwareverzeichnis, ([www.aicos.com](http://www.aicos.com))
- [OV07] o.V.: IBV, Infrarot-Kamera-Messung, analysiert 960 Spektren/s.,  
([www.avantes.com](http://www.avantes.com))
- [OV91] Hrsg.: Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik ASIM  
Simulation – Werkzeug und Entscheidungshilfe im  
Unternehmen; Tagungsbericht März 1991 Hannover, gfmt-  
Verlag; München 1991
- [OV99] o.V.: Engineering on the web - virtuelle Zusammenarbeit  
internationaler Entwicklungspartner in der Produktentwicklung;  
In: DER KONSTRUKTEUR, Heft 1-2/1999, S. 50, (Tecoplan)
- [PAP90] Papula-J.: Mathematische Formelsammlung für Ingenieure und  
Naturwissenschaftler, 3. Auflage, Vieweg&Sohn Wiesbaden  
1990
- [PFE66] Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement - Strategien -Methoden -  
Techniken Carl Hanser Verlag München - Wien 1966 ( 2.Aufl.),  
S. 46
- [POL04] Poll, D.: Sensorik - Machine Vision; mehr Leistung auf weniger  
Raum; Zum Sensorbau in Deutschland;  
In: PRODUKTION Nr. 25 /2004, S. 16
- [POR04] Porter Michael E., Competitive Strategy, Techniques for  
Analyzing Industries and Competitors, First Free Press Export;  
Edition 2004
- [PRI07] Prieler, S.,Wenzel, P.: Brücken schlagen - Integration von  
Feldbussen der Prozess-automatisierung in Profinet;  
In: CHEMIE TECHNIK , Spezial Prozessautomatisierung ;  
Messtechnik-Automatisierung-Prozessanalytik, Hüthig Verlag  
Heidelberg 2007, S.32 ff.
- [PUA02] Puaar, S.: Six-sigma auf das Unternehmen massschneidern;  
In: PRODUKTION Nr. 37/2002, S. 23

- [REI01] Reimer, T.: Ein Referenzmodell für EAI;  
In: Computerwoche 36/2001, S. 64
- [REI07] Reimer, U., Rother, M., Schaar, G.: TPM; Total Productive Maintenance Proceedings MC -Forum; Düsseldorf 2007
- [RHE07] Rhensius, T.: RFID - Quo Vadis? Eine umfassende Bestandsaufnahme;  
In: Unternehmen der Zukunft (UdZ) 3/2007, S.62 f., (FIR-RWTH Aachen)
- [ROJ96] Rojas-R: Neuronal Networks, Springer Verlag; Berlin - Heidelberg 1996
- [ROM04] Rombach, D.: (Fraunhofer Institut für experimentelle Software-Nutzung): Datenflut in Fertigungsbetrieben und dessen unzureichende Auswertung und Nutzung;  
In: DER BETRIEBSLEITER Nr. 3/2004, S. 10
- [ROS06] Rosemann, B., Dr.-Ing.: VERICUT. Die Welt der Fertigungssimulation Firmenschrift Hrsg. CG Tech Deutschland; (www.cgtech.com)
- [RUD06] Rudolph, A.: Data Mining in action: Statistische Verfahren der Klassifikation, Shaker Verlag, ISBN 3-826-56172-4
- [SAA94] Saatweber, J.: Quality Function Development (QFD);  
In: Masing, W.(Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Hanser Verlag; München-Wien 1994
- [SAC07] Sacher, J.: Eingriffsfrei non-invasive Konzentrationsmessung mit Ultraschall;  
In: CHEMIE-TECHNIK Heft 7/07, S. 72-74 (Kühlmittel)
- [SAT01] Sattler, H.: EAI - Ein Konzept mit vielen Gesichtern;  
In: Computerwoche 36/2001, S. 60 f.
- [SCA06] Schanz, G.: Sensoren, Sensortechnik für Praktiker, 3. völlig neu überarbeitete Auflage, Hüthig Verlag; Heidelberg 2006
- [SCE07] Scheuermann, A. et al: Trendbericht Plant Asset Management;  
In: CHEMIE-TECHNIK, H. 11/07, S. 22-25
- [SCH00] Schroeder, R.: SIX SIGMA - The Breakthrough Management - Strategy Revolutionazing the World's Top Corporations, Random House Inc.; New York 2000, 1.Auflage
- [SCH02] Scheibeler, A. : Balanced Score-Card für KMU, Kennzahlenermittlung mit ISO 9001:2000, 2. Auflage, Springer Verlag; Berlin 2002
- [SCH03] Schikorr, J.: Qualitätsmanagement - Verschlafen die Deutschen die nächste Chance;  
In: PRODUKTION Nr. 39/2003 , S. 7
- [SCH04/1] Schatz, G.: Fertigungscontrolling - Fehler online erkennen;  
In: PRODUKTION Nr. 23 /2004, S.20

- [SCH04] Schnauber, H. (DGQ): Qualität ist Voraussetzung für Erfolg;  
In: Produktion Nr. 18/2004, S. 25  
„...Deutschland braucht Qualität des Managements..exzellent wird man, wenn Qualität nicht nur hinterfragt sondern als Selbstverständlichkeit aufgefasst wird...“ ; Zitat aus Vortrag Kongress „Fabrik des Jahres“; Frankfurt Febr. 2004
- [SCH06] Schloske, A. et al.: Effiziente Wege zur Null-Fehler-Produktion  
Prozessintegration-Fehlerprävention-Nullfehlerkultur  
Proceedings Fraunhofer IPA/ MC Fachkonferenz, Stuttgart 2006
- [SCH07/1] Schloske, A.: Prozessanalyse und statistische  
Prozessregelung, In: Proceedings Fraunhofer IPA/MC Seminar;  
Köln 2007
- [SCH07/1] Schmidt, C.: Produktionsmanagement in Unternehmen der  
Zukunft –Gestaltung der Auftragsabwicklung in Netzwerken;  
In: UdZ 1/2007, S. 4-6
- [SCH07/2] Scheu, R.: Konsolidierte Business- Intelligence Technische,  
fachliche und organisatorische Gestaltungsansätze;  
In: INFORMATIONWEEK, Heft 22.Febr.2007, S. 14-17, (CMP-  
WEKA Verlag München-Poing)
- [SCH07/3] Scheuermann, A.: Drahtlose Kommunikation im Feld;  
In: CHEMIE-TECHNIK, Trendbericht Heft 6/2007, S. 16-23
- [SCH07] Schloske, A. et al.: Der neue Qualitätsmanager, Position  
stärken - Veränderungen umsetzen – Qualität leben,  
Proceedings Fraunhofer/MC-Seminar; Düsseldorf 2007
- [SCH08] Schloske et.al.: Qualitätsmanagement – Fresh up für  
Kontinuierliche Verbesserungen in der Produktion: Mit SPC  
robustierte Prozesse sind Voraussetzung für Null-Fehler  
Produktion Skript zum Seminar Fraunhofer IPA; Stuttgart 2008
- [SCH88] Schönsleben, P.: Flexibilität in der computergestützten  
Produktionsplanung und –steuerung, 2., überarbeitete und  
erweiterte Auflage, Angewandte Informationstechnik  
Halbergmoos; CW-Verlag München 1988
- [SCH91] Schliep, W., Womann, W.: Erfahrungen bei der Einführung  
wissensbasierter Systeme;  
In: IST – Intelligente Software Technologien 3/91, S. 6-12
- [SCJ06] Schulte, J.: Prozessorganisation als Wettbewerbsfaktor;  
In: DER BETRIEBSLEITER Heft 5/2006, S. 38 f.
- [SCM07/1] Schmidt, C., Schweicher, B., Walber, B.:  
Produktionsmanagement in Unternehmen der Zukunft;  
Gestaltung der Auftragsabwicklung in Netzwerken;  
In: Unternehmen der Zukunft (UdZ), Hrsg. FIR  
Forschungsinstitut für Rationalisierung an der RWTH Aachen),  
Heft 1/2007, S.4-6



- [SCM07/2] Schmidt,C.,Roesgen,R.: Advanced Planning & Scheduling (APS) in Produktionsnetzwerken, Wirtschaftliche Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten von APS Systemen in kleinen und mittleren Unternehmen;  
In: UdZ , Heft 1/07, S. 18-21
- [SCM07] Schmelzer, H., Sesselmann, W.:  
Geschäftsprozessmanagement in der Praxis, 5. Auflage,  
Hanser Verlag; München 2007
- [SEG07] Seghenzzi, H., Fahrni, F., Herrmann, F.: Integriertes Qualitätsmanagement - Der St. Galler Ansatz, 3. Auflage,  
Hanser Verlag; München 2007
- [SEU07] Scheuermann, A.: Neues Denken gefordert Positive Erfahrungen mit Foundation Fieldbus Projekten, Unsicherheit beim Umgang mit Fehlern , Schulung und Training ist von entscheidender Bedeutung;  
In: CHEMIE-TECHNIK, Heft 4/07, S. 24
- [SHA08] Scheuermann, A.: Wireless- Lösungen im Praxiseinsatz;  
In: CHEMIE-TECHNIK, Heft 1-2/08, S. 22 f.
- [SHA88] Shainin, D.,Shainin, P.: Better than Taguchi orthogonal tables;  
In: Quality and Reliability Engineering International 1988
- [SHU04] Shuhei, Toyota: Wettbewerbsfähige Produktionskosten, Toyota Produktionssystem funktioniert weltweit, Toyota hängt Messlatte für Fertigungsqualität noch höher;  
In: Produktion Nr. 18/2004, S. 6
- [SIM05] o.V.: Software optimiert Eisenproduktion – Neues Programm erlaubt schnelle Prozesskorrekturen ( Simelt-Simpax Beschreibung/Siemens 2005)
- [SOB00] Sobeck, J.: Was taugt TQM als ganzheitliche Medizin; Fehler-Ursachenforschung wichtigstes Element;  
In: PRODUKTION Nr. 44/2000, S.3
- [SPA02] Spatz, J., Nunnenkamp, P.: Globalisierte Automobilindustrie - Wettbewerbsdruck- Arbeitsmarkteffekte- Anpassungsreaktionen, Springer Verlag; Heidelberg 2002
- [STA01] Staub, M., Walter, J.: Wer hat Angst vor EAI;  
In: Diebold Management Report (DMR), Heft 3/2001, S. 15 ff.
- [STA05] Firmenbroschüre: Statistik-Methoden und Anwendungen,  
(www.statsoft.de)
- [STE06/1] Stender, S., Karl, G., Heuvel v.B. Moderne Instandhaltungsstrategien, Proceedings Fraunhofer IPA-MC-Seminar; Köln 2006
- [STE06] Stender, S. et al.: Condition-Monitoring: Stillstände vermeiden - Verschwendung minimieren - Laufzeiten verlängern,  
Proceedings IPA Fraunhofer/MC-Seminar; Frankfurt 2006
- [STE07/1] Stender, S. et al.: Moderne Instandhaltungsstrategien  
Proceedings Fraunhofer IPA/MC-Seminar; Stuttgart 2007
- [STE07] Stender, S. et al.: Vorbeugende Instandhaltung, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit, Proceedings Fraunhofer IPA/MC-Seminar; Stuttgart 2007

- [STI06] Stipp, P.: Identifikationssystem zur sicheren Identifizierung von Werkzeug-Einstell- und Messgeräte , Vorteile hinsichtlich Qualität und Standzeit;  
In: SCOPE, Heft 8/2006 , S. 56 f.
- [STI07/1] Stipp, P.: Prüfen im Prozess – IR Technik macht das Unsichtbare sichtbar;  
In: SCOPE 5/2007, S. 16-18
- [STI07] Stiel, H.: Datenintegration in der Praxis – eine Illusion  
In: COMPUTERWOCHE 28 vom 13.July 2007, S. 24
- [STO01] Stöhr, C.: Von Insellösungen zum e-business - Integration mit Hilfe von Integrationsservern, EAI- Tools und XML;  
In: Computerwoche 36/2001, S. 72
- [STO07] Stotz, H.: Kollisionskurs ( Anwenderbericht zur Fertigungsprozess-Simulation);  
In: SCOPE Heft 3/2007, S.16-23
- [STP06] Stöppelmann,G., Feiler, S., Giraud-Zindy, I.: Statistische Versuchsplanung zur Optimierung von Kunststoffprodukten, In: CHEMIE TECHNIK, Heft 6/2006, S. 88 f.
- [SÜS01] Süss, G.: Vertikale Integration nimmt Gestalt an;  
In: COMPUTER & PRODUKTION, Heft 1-2/2001, S. 45
- [SUZ89] Suzuki K., Modernes Management im Produktionsbetrieb, Strategien Techniken, Fallbeispiele, Carl Hanser Verlag; München Wien 1989
- [SYS07] Syska, A.,Gatawis, E.: Lean Produktion Kennzahlen Proceedings zum MC Kompaktkurs; Frankfurt Juni 2007
- [TAG86/1] Taguchi, G.: Introduction to Quality Engineering. Asian Productivity, Organisation; Tokyo 1986
- [TAG86/2] Taguchi, G., Wu, Y.: Introduction to Off-Line Quality Control. Central Japan Quality Control Association; Nagoya 1986
- [TAW06] Tawakoli-T.: Moderne Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung, 6. Seminar am 17.05.2006 in Stuttgart; Villingen-Schwenningen 2006
- [TES07] Tesser, S.: Methoden zur Leistungs-und Qualitätssteigerung - Steckbriefe für besonders effektive Möglichkeiten;  
In: README.TQU, 62.Ausgabe, S. 34 ff.
- [TIM01] Timm, J., Herzog, O., Woelk, P., Siebert, K., Tönshoff, K-H.: Integrierte Software-Agenten unterstützten Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung (IntaPS), White paper zum Forschungsprojekt des Technologiezentrums Informatik (TZI) Universität Bremen und Institut für Fertigungstechnik und spanende Werkzeugmaschinen (IFW) Universität Hannover 2001
- [TRI06] Triebel, K.: Steigerung der Qualität im gesamten Produktlebenszyklus (...CAQ-Einsatz verlagert sich in die Produktentstehung);  
In: DER BETRIEBSLEITER, Qualitätssicherung Spezial, Heft 4/2006, S.40 f.

- [UNI07] SFB 747 Universität Bremen: Sichere Prozesse: Zum Stand der Forschung White paper 2007 mit umfangreicher Referenz-Literatur, ( [www.sfb747.uni-bremen.de](http://www.sfb747.uni-bremen.de))
- [VOL99] Volk, H.: Wichtiger als jedes Management-Modell: Führungsqualität (Studie A.D.Little Beratungsgesellschaft: ...70 % aller Qualitäts- und Reengineering-Projekte scheitern); In: DER BETRIEBSLEITER, Heft 1-2/1999, S. 56 (Refa)
- [WAG06] Wagner, F., Springer, H-J., Söder, E.: Produktionsgerechte Entwicklung und Schnittstellenmanagement, Proceedings IAO Fraunhofer / MC-Seminar; Stuttgart 2006
- [WAG07] Wagner, Karl. (Hrsg.): POM – Prozessorientiertes Qualitätsmanagement, 3. aktualisierte Auflage, Hanser Verlag; München 2007
- [WAL01] Wallechner, H.: Six sigma - Was wollten die Erfinder ( Motorola ); In: PRODUKTION Nr. 45 /2001, S. 26
- [WAR92] Warnecke, H.-J.: Die Fraktale Fabrik - Revolution der Unternehmenskultur, Springer Verlag; Berlin-Heidelberg-New York 1992
- [WAT04] Watson, G.: Six sigma for Business Leader; A Guide to Implementation GOAL/OPC Salem New Hampshire/USA 2004 (TQU Verlag Ulm)
- [WEI06] Weinzierl, K. et al.: API – Adaptiv Planing Intelligence Software, Mathematische Technologie für vorausschauende dynamische Produktionsplanung, (...) Kombination verschiedener Algorithmen ermittelt aus einer Vielzahl parallel und voneinander abhängiger Produktionsschritte optimale Sequenzen; In: CHEMIE-TECHNIK Heft 11/2006, S. 14-16
- [WEN04] Wenzel, P., Oestrich, V.: Verteilte Automatisierung realisieren- Verbesserte Kommunikation auf Basis von Industrial Ethernet; In: DER KONSTRUKTEUR Nr. 4 /2004, S. 32
- [WID06] Widmann, W.: IBV – Berührungslose Kontrolle für NULL-Fehler Option Kundenspezifische Lösungen unterscheiden sich weniger in der gerätetechnischen Ausstattung als in der Software (...) Plug +Play Konfigurationen Lasermess-Systeme + intelligente Kameras; In: Produktion 39/2006, S. 14
- [WIL06] Wilk, C.: ERP-Zufriedenheit im Maschinenbau ; Kritik : mangelnde Flexibilität; In: Produktion Nr. 46 /2006, S. 14
- [WIL06] Wildemann, H.: Wissensmanagement; Leitfaden für die Gestaltung und Implementierung eines aktiven Wissensmanagements im Unternehmen, 4. Auflage; München 2006
- [WIL87] Wildemann, H. (Hrsg.): Just-in-time, Produktion + Zulieferung, Tagungsbericht, Sept.1987, Böblingen, 2 Bände, gfmt Verlag; München 1987

- [WIL88] Wildemann, H. (Hrsg.): Einführungsstrategien für neue Technologien; Tagungsband zum Fertigungswirtschaftlichen Kolloquium März 1989, Uni Passau, 2. Bände, gfmt-Verlag; München 1988
- [WIL89/2] Wildemann, H. (Hrsg.): Kundennahe Produktion und Zulieferung durch Just-In-Time; Tagungsbericht Böblingen, Sept. 1989, gfmt-Verlag; München 1989
- [WIL89] Wildemann, H. (Hrsg.): Expertensysteme in der Produktion, gfmt Verlag; München 1989
- [WIL91] Wildemann, H. (Hrsg.): Kundenorientierte Problemlösungen im PPS-Bereich, Tagungsbericht TU München, gfmt-Verlag; München 1991
- [WIT01] Witten, L.: Data Mining, Praktische Werkzeuge und Techniken für das maschinelle Lernen, Hanser Verlag; München Wien 2001
- [WIT05] Witten, I., Eibe, F.: Data Mining: Praktische Werkzeuge und Techniken für das maschinelle Lernen, Hanser Fachbuchverlag, ISBN 3-446-21533-6
- [WUE03] Wünsche, U.: Six-sigma - Powerpille für das Wachstum; In: PRODUKTION Nr. 28-29/2003, S. 25

## ANHANG I

Datenbanken , Suchergebnisse

- **WEMA** (Werkstoff und Material-Datenbank)  
271 Nachweise zu „Data Mining“ ,  
26 Nachweise zu „Künstliche Neuronale Netze“ ;
- **DOMA** (Datenbank für Maschinen- und Anlagenbau)  
> 1000 Nachweise zu „Data Mining“ ,  
130 Nachweise zu „Künstliche Neuronale Netze“; (KNN)
- **IIMM** (Indian Institute of Material Management)  
345 Nachweise zu „Data Mining“ ,  
45 Nachweise zu „Künstliche Neuronale Netze“ ;
- **BEFO** (Datenbank für Betriebsführung und Organisation)  
710 Nachweisen zu „Data Mining“ .
- **VDMA-Literatur-Katalog**  
46 Literaturstellen mit Verweise auf „Data Mining“.

Über die Internet Suchmaschine ([www.google.de](http://www.google.de)) wurden weitere Quellen erfasst. Die Internetseite ([www.kdnuggets.com](http://www.kdnuggets.com)) listet Literatur und Software-Tools zum systematischen Erkennen und Auffinden von Zusammenhängen im Datenbeständen. Die Datenbank „*Digitale Fachbibliothek– Qualitätsmanagement*“ bietet zahlreiche Berichte zu moderner Qualitäts-Management Methoden.

Wissenschaftliche Quellen mit thematischer Nähe zur Aufgabenstellung  
(Data-Mining zur Analyse und Steuerung von Fertigungsprozessen)

- „Aufbau einer Werkstoffdatenbank und Analyse mit Data-Mining und OLAP“  
[Grosse, A.: Interdisziplinäre Werkstoffauswahl durch Aufbau eines Material Data Mart ; Dissertation, (2001), TU Clausthal-Zellerfeld, Papierflieger-Verlag]
- „Bestimmung von Bearbeitungsparametern für Zerspanungsprozesse unter Berücksichtigung technologischer Randbedingungen und Wirtschaftlichkeitsanforderungen“ [Schulz, H.; Kalhöfer, E.: Zerspanungsparameter mit neuronalen Netzen bestimmen. Ein konnektionistisches Modell des Zerspanprozesses; Werkstatttechnik – wt, Band 88 (1998) H 3, S. 125- 128]

- „Prozessüberwachungssystem für Drehmaschinen mit Neuro-Fuzzy-Systemen.“ [Suwalski, I.: Steuerungsintegriertes Prozessüberwachungs-System für Drehmaschinen; Bericht Produktionstechnisches Zentrum Berlin, (1999) Seite 1-180, ( Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik )
- „Modellierung und Optimierung des thermischen Lastverformungsverhalten von Werkzeugmaschinen.“ [Bonse, R.: Thermisches Last-Verformungsverhalten von Werkzeugmaschinen; Berichte aus der Produktionstechnik, Band 14 (1999), Aachen
- „KNN-Modelle zur Diagnose von Maschinenschäden und Produktqualität am Beispiel: Fliesen.“ [Nef, C.: Diagnose mit neuronalen Netzen. Intelligente Technologien im Einsatz. Teil 1; MegaLink, Bd 4 (1997) Heft 8, S.28-31
- „Modellierung der Fabrikautomatisierung und rechnerintegrierte Fertigung mit Methoden der Künstlichen Intelligenz.“ [Shi, X.; Chen, J.; Yang, H.; Peng, Y.;Ruan, X.; A novel approach to extract knowledge from simulation results; International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Band 20 (2002) Heft 5, Seite 390-396
- “Data-Mining Technologie zur Qualitätskontrolle und Vorhersage von Produktqualität, Zuverlässigkeit und Lebensdauer in der Chip-Industrie.“ [Oswald,M.; Data Mining hebt den Wissensschatz der Produktion. Fertigung: Die Ressource Information wird immer wichtiger; VDI-Nachrichten, Band 55 (2001) Heft 40, Seite 15]
- „KNN zur Echtzeit Prozesssteuerung in der Bergbauindustrie, weitere Anwendungen: Modellierung räumlicher Daten, Abschätzung von Erzreserven, Tunnelauslegungen, Vorhersage zur Stabilität und Klassifizierung Deckgebirge.“ [Yama, B. R.; Lineberry, G.T.: Artificial Neuronal Network application for a predictive task in mining; mining engineering, Band 51 (1999) Heft 2, Seite 59-64]



<b>Ergebnis</b>					
<b>Standweg</b>		<b>t [min]</b>	<b>Bohrungszahl</b>	<b>VB<sub>max1</sub></b>	<b>VB<sub>max2</sub></b>
41,736m (Wkz.-Bruch)		-	-	90µm (Lf=40m)	70µm (Lf=40m)
<b>Fz 1 = erste Bohr.</b>	-	<b>dFx1</b>	-	<b>dFy1</b>	-
<b>Fz 2 =</b>	-	<b>dFx2</b>	-	<b>dFy2</b>	-
<b>Fz 3 = letzte Bohr.</b>	-	<b>dFx3</b>	-	<b>dFy3</b>	-

**Bilder im PG1000:** daten / pg1000 / flm / Bohrmeister / Haas

**Ergebnis:** Werkzeug bohrt ruhig, kurze Späne

Lf = 1m: An beiden Rundfasen TiN Schicht sichtbar.  
Lf = 30m: Kolkverschleiß an beiden Ausspitzungen. Siehe Bild.  
Lf = 40m: Materialaufbau an den Ausspitzungen. Siehe Bild.  
Lf = 41,736m: Plötzlicher **Werkzeugbruch**.

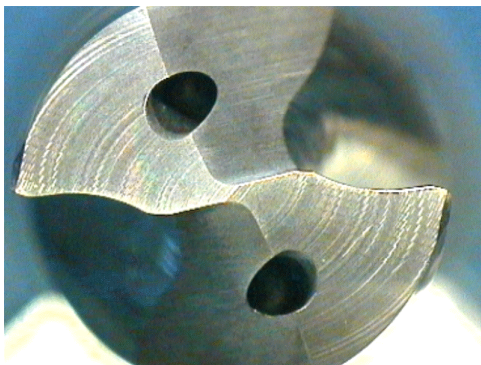


Bild: 1\_1.gif ( Wkz. neu )

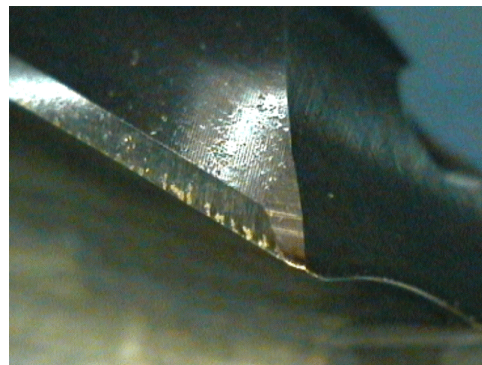


Bild: 1\_2.gif ( Nach Lf=1m )

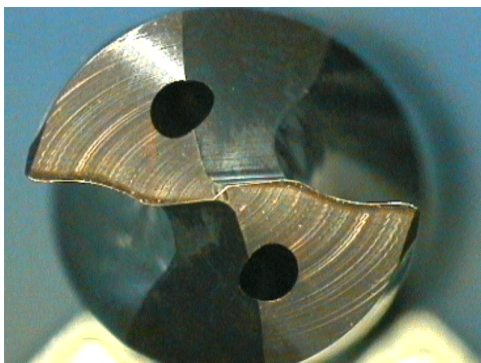


Bild: 1\_3.gif ( Nach Lf=1m )

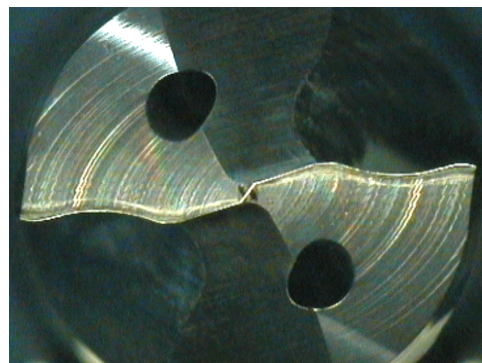


Bild: 1\_4.gif ( Nach Lf=5m )



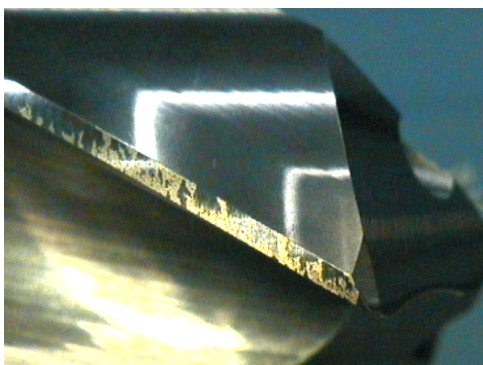


Bild: 1\_5.gif ( Nach Lf=5m )

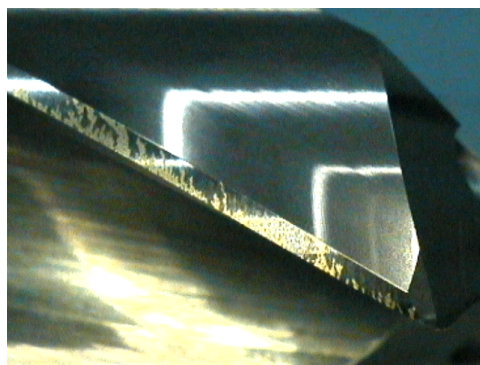


Bild: 1\_6.gif ( Nach Lf=5m )

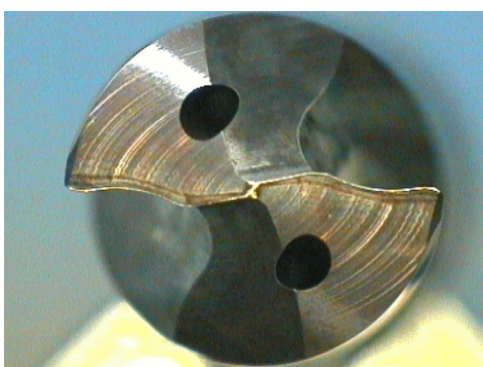


Bild: 1\_7.gif ( Nach Lf=20m )

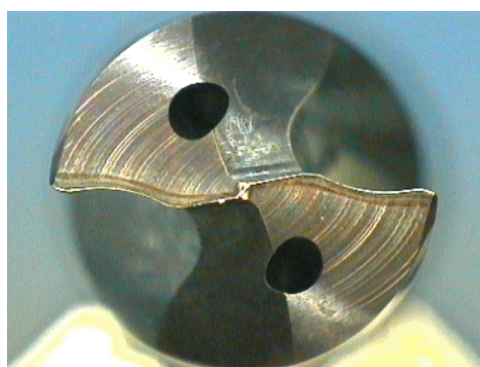


Bild: 1\_8.gif ( Nach Lf=30m )

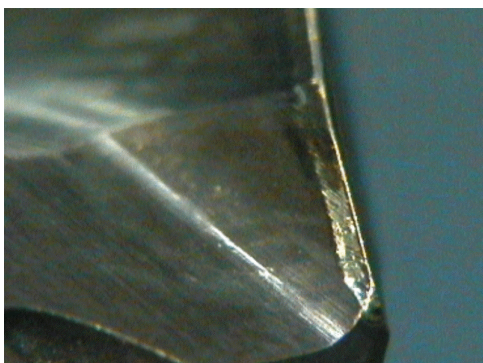


Bild: 1\_9.gif ( Nach Lf=30m )

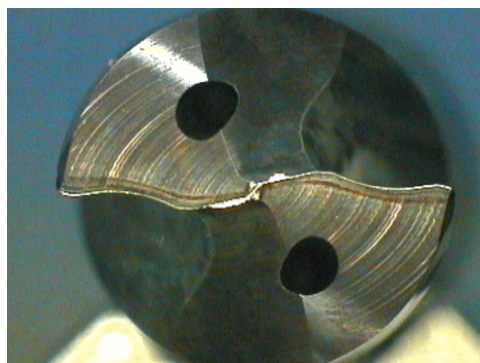


Bild: 1\_10.gif ( Nach Lf=40m )



**Ergebnis**

Standweg		t [min]	Bohrungszahl	VB <sub>max1</sub>	VB <sub>max2</sub>
Lf= 45,03m		-	1185	170µm	240µm
Fz 1 = erste Bohr.	-	dFx1	-	dFy1	-
Fz 2 =	-	dFx2	-	dFy2	-
Fz 3 = letzte Bohr.	-	dFx3	-	dFy3	-

Bilder im PG1000: daten / pg1000 / flm / Bohrmeister / Haas / ...

**Ergebnis:**

Werkzeug „quitscht“ beim Herausfahren; kurze Späne

Lf= 30m:

kleiner Verschleiß an einer Rundfase. Siehe Bild.

Lf= 45m:

Ausbruch und Risse an den Rundfasen. Versuch beendet.

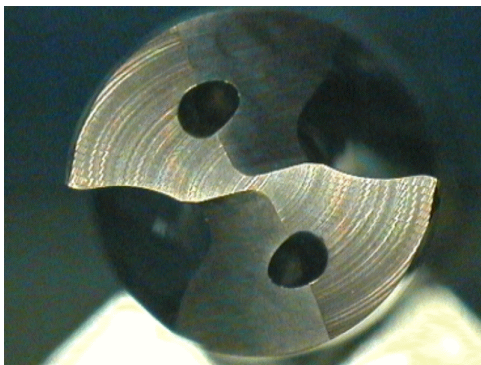


Bild: 2\_1.gif (Wkz. neu)

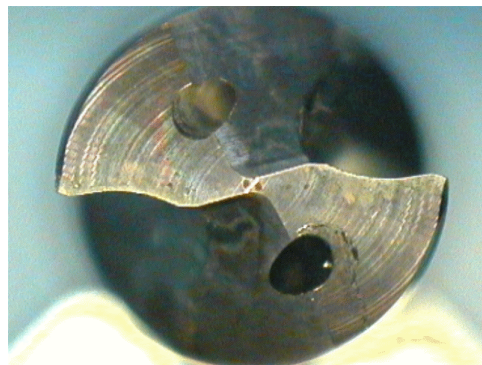


Bild: 2\_2.gif (Lf=1m)

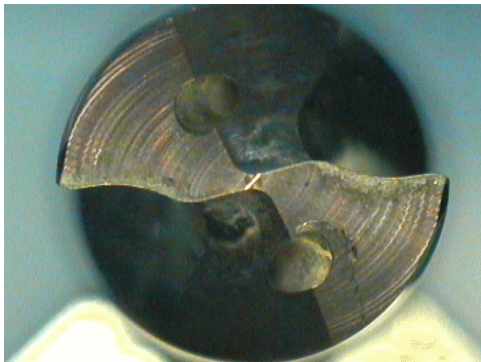


Bild: 2\_3.gif (Lf=10m)

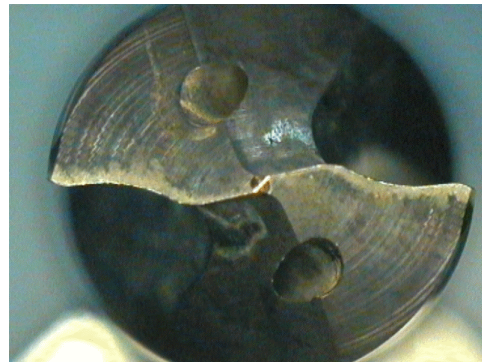


Bild: 2\_4.gif (Lf=20m)



Bild: 2\_5.gif (Lf=30m)

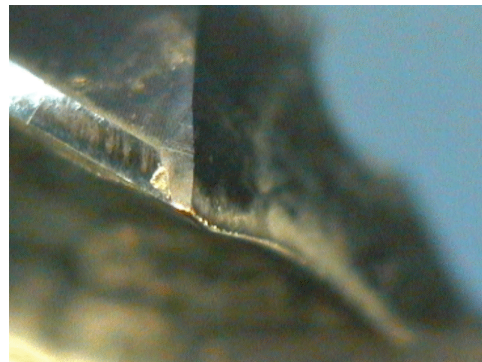


Bild: 2\_6.gif (Lf=30m)



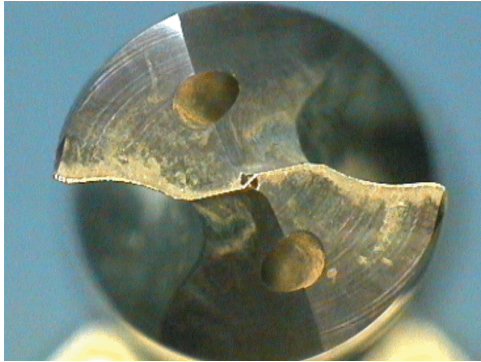


Bild: 2\_7.gif (Lf=40m)

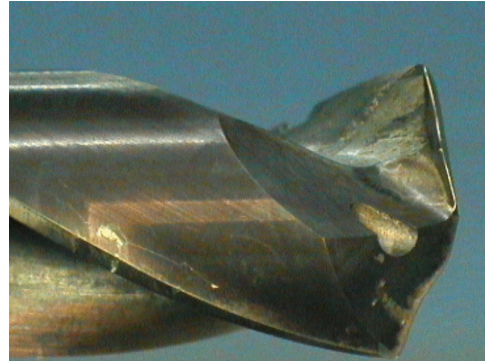


Bild: 2\_8.gif (Lf=45m , 1.Schneide)

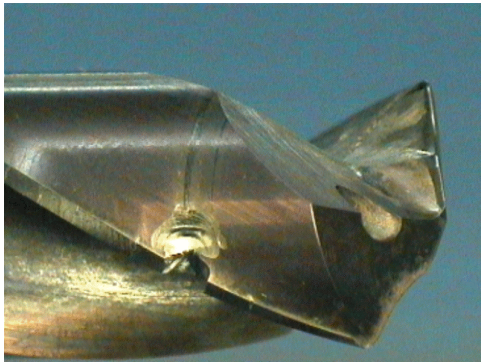


Bild: 2\_9.gif (Lf=45m , 2.Schneide)

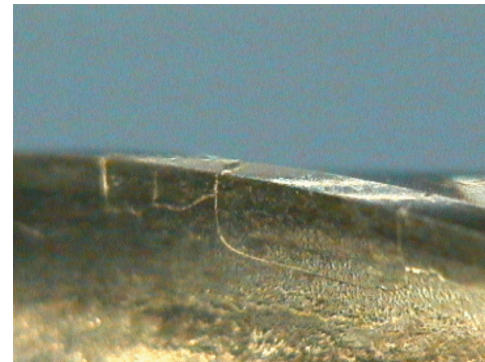


Bild: 2\_10.gif (Lf=45m , 1.Schneide)



Bild: 2\_11.gif (Lf=45m , 2.Schneide)



Bild: 2\_14.gif (Lf=45m , 1.Schneide)



Bild: 2\_15.gif (Lf=45m , 2.Schneide)

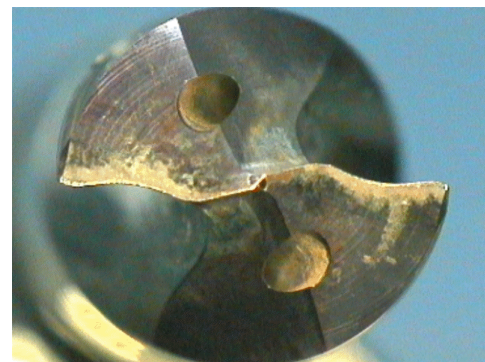


Bild: 2\_16.gif (Lf=45m)



Bearbeitungszentrum,  
Typ Norte vertikal,  
Baujahr 1996



Bohrversuche auf CNC  
Norte, Rundmaterial  
37MnSi5,  
Hydrodehnspannfutter  
Typ Schunk, HSK 63





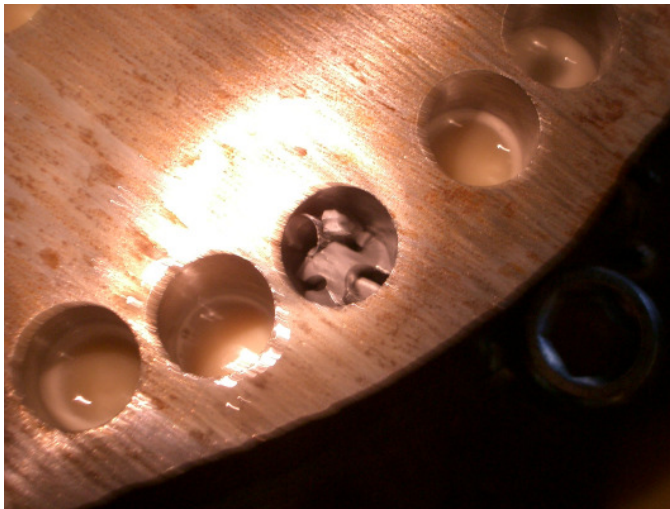
37MnSi5, Material



Bearbeitungszentrum,  
Versuchsfeld



300 Sacklochbohrungen,  
entsprechen einem  
theoretischen Standweg  
von 114m pro  
Rundmaterial.



Werkzeugbruch beim  
Bohrversuch



Restwerkzeug



Fähnchenspan



Reissspan



Anbohrspan



## **37MnSi5**

Werkstoff-Nr.:

1.5122

Alte Werksmarke:

VMS 135

Internationale Bezeichnungen:

BS:

AFNOR:

SAE:

### **Werkstoffgruppe:**

MnSi-legierter Vergütungsstahl

<b>Chemische Zusammensetzung:</b> (Richtanalyse in %)	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Sonst.</b>
	0,37	1,25	1,25	(Pb)

### **Verwendung:**

MnSi-legierter Vergütungsstahl mit einer Festigkeit von 800 - 1500 N/mm<sup>2</sup> für Bauteile mit Verschleißbeanspruchung, wie z.B. Getriebeteile, Bandagen, Teile an Förderanlagen.

Geeignet für die Oberflächenhärtung. Für Kurbelwellen im Flugzeug- und Dieselmotorenbau, Getriebewellen und Zahnräder sowie alle Teile, die höhere Kernfestigkeit bei gleichzeitig guten Zähigkeitseigenschaften haben sollen, und bei denen eine mittlere Oberflächenhärte ausreicht.

### **Warmformgebung und Wärmebehandlung:**

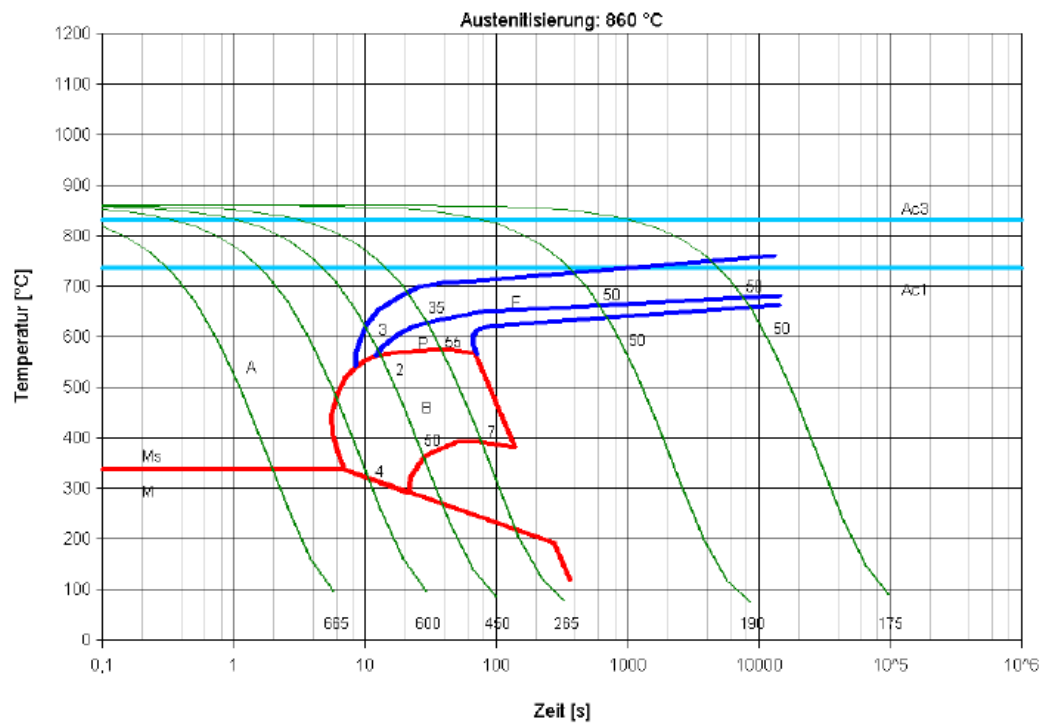
Schmieden: 1150 - 850°C  
Normalglühen: 860 - 890°C/Luft  
Weichglühen: 680 - 720°C/Ofen  
Härten: 820 - 850°C/Wasser  
Härten: 830 - 860°C/Öl  
Anlassen: 480 - 650°C/Wasser (Öl)  
Oberflächenhärten: 820 - 850°C  
Spannungsarmglühen: 120 - 200°C

### **Mechanische Eigenschaften:**

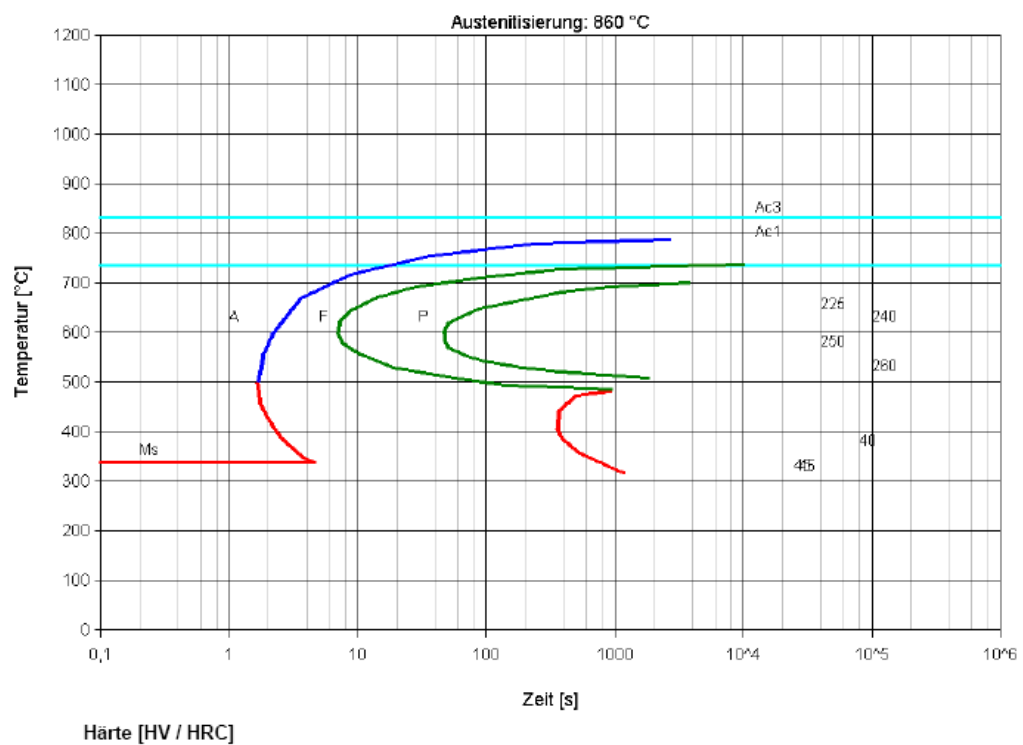
Weichgeglüht, +A: max. 217 HB  
Oberflächenhärte: 52 - 58 HRC

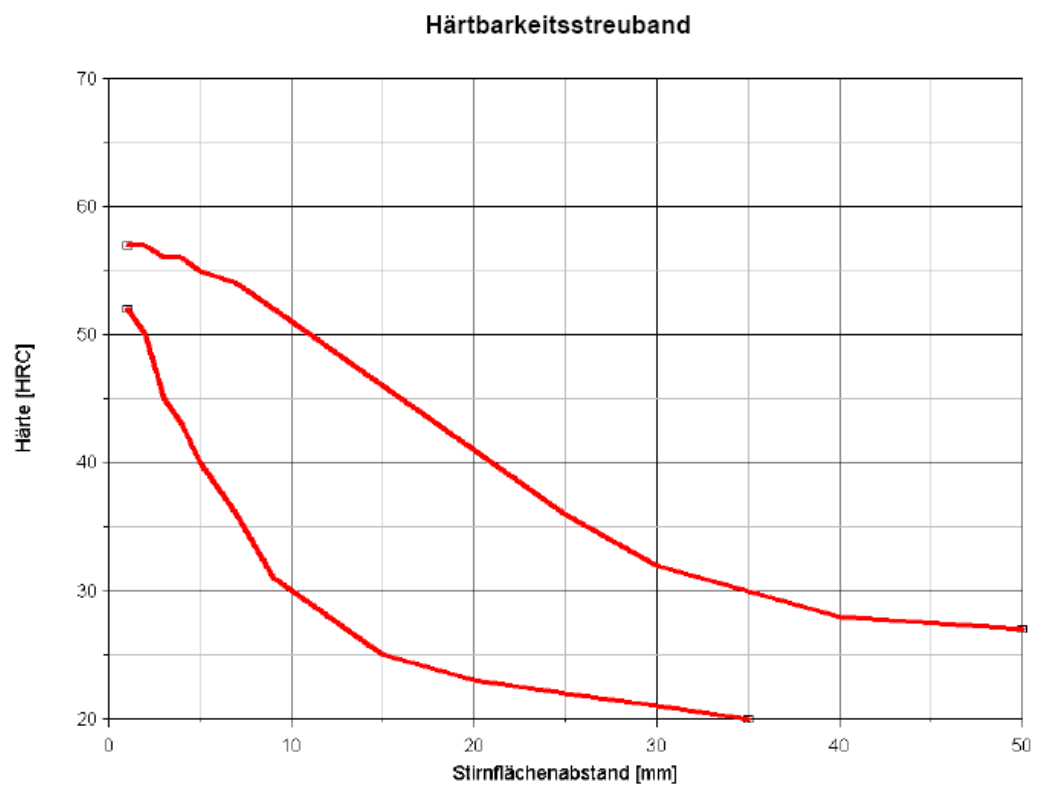
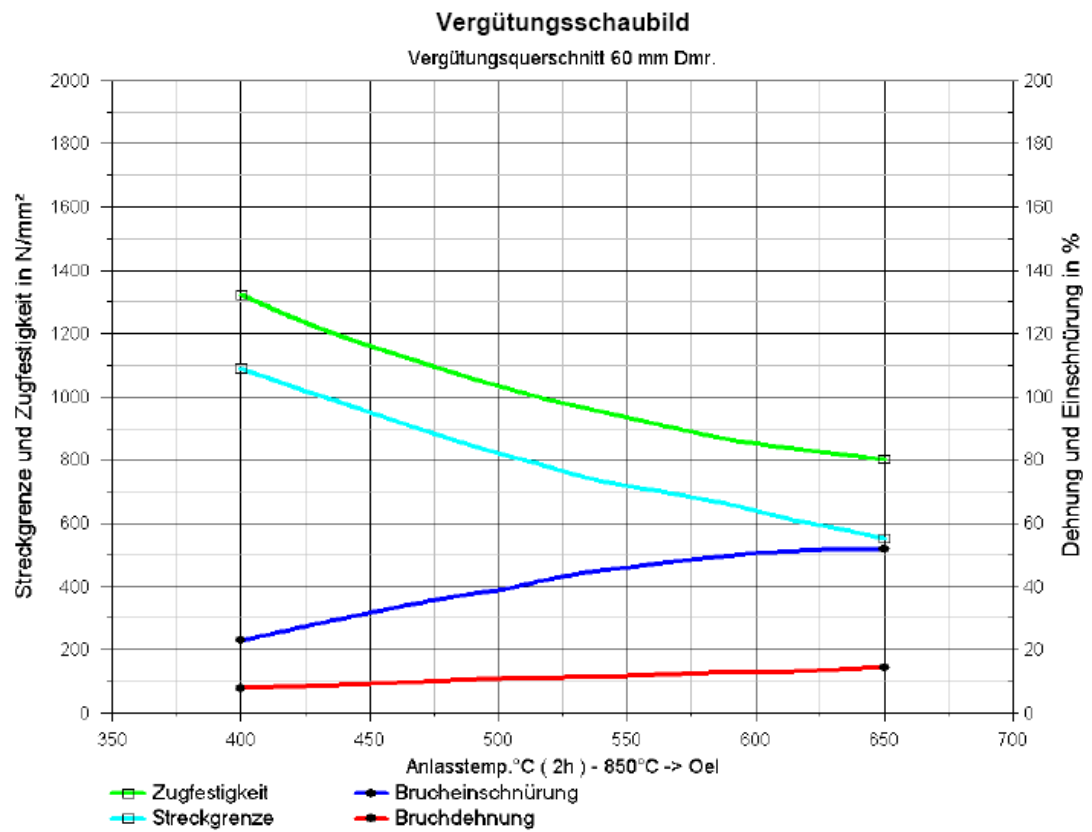
Durchmesser d [mm]	< 16	>16 – 40	>40 – 100	>100 - 250
<b>Streckgrenze R<sub>p0,2</sub> [N/mm<sup>2</sup>]</b>	min. 800	min. 650	min. 550	min. 450
<b>Zugfestigkeit R<sub>m</sub> [N/mm<sup>2</sup>]</b>	1000 - 1200	900 - 1050	800 - 950	700 - 850
<b>Bruchdehnung A<sub>5</sub> [%]</b>	min. 11	min. 12	min. 14	min. 15
<b>Brucheinschnürung Z [%]</b>	min. 35	min. 40	min. 45	min. 50
<b>Kerbschlagarbeit ISO-V [J]</b>	min. 18	min. 25	min. 30	min. 38
<b>Kerbschlagarbeit DVM [J]</b>	min. 35	min. 42	min. 50	min. 58

### Kontinuierliches ZTU-Schaubild



### Isothermisches ZTU-Schaubild





(Quelle: [http://www.saarstahl.de/deutsch/produkte/walzstahlsorten/PDF-Dokumente/m\\_5122\\_37MnSi5.pdf](http://www.saarstahl.de/deutsch/produkte/walzstahlsorten/PDF-Dokumente/m_5122_37MnSi5.pdf))